

## ESTUDIO DE MINERALES Y ROCAS

# Estudio petrológico de las facies Saxoniense y Buntsandstein de la zona de El Pobo de Dueñas (Cordillera Ibérica)

Por E. SENTCHORDI (\*) y R. MARFIL (\*\*)

## RESUMEN

Las areniscas rojas de facies Saxoniense y Buntsandstein estudiadas son cuarzoarenitas y sublitoarenitas, que hacia el tramo medio del Buntsandstein se hacen progresivamente más ricas en feldespatos, llegando al techo de la serie a ser arcósicas.

Utilizando los distintos tipos de granos de cuarzo, así como la variación de minerales pesados, se ha podido deducir la naturaleza de sus áreas fuentes en esta zona de la Cordillera Ibérica. En el caso del Saxoniense encontramos una procedencia metamórfica de bajo y medio grado con una influencia ígnea subordinada. Asimismo hemos encontrado que las áreas fuentes de los sedimentos del Buntsandstein son de naturaleza metamórfica de bajo, medio y alto grado (incluidos los neises). La influencia nétsica crece progresivamente hacia el techo de las series, donde es casi exclusiva.

Entre los procesos diagenéticos más importantes que han afectado a las areniscas estudiadas destacan la cementación silícea y caolínítica que suelen afectar a los tramos de areniscas de grano grueso de la base y a algunos niveles del techo. En menor proporción aparece cementación ferruginosa, dominante en el Saxoniense, y feldespática que afecta sobre todo al tramo superior del Buntsandstein. Otros fenómenos diagenéticos encontrados han sido: La alteración de los feldespatos y fragmentos de roca volcánica a illita y caolinita, constituyendo una fuente importante de matriz diagenética (epimatriz), y la deformación y rotura de los fragmentos de roca metamórfica, dando lugar a una fuerte compactación mecánica y consiguiente pseudomatriz. Asimismo, existen moderados fenómenos de disolución por presión (contactos cóncavo-convexos dominantes).

De la intensidad de los fenómenos diagenéticos, hemos deducido que nos encontramos en la etapa de mesodiagénesis madura «B» de SCHMIDT y McDONALD (1979), corroborándose estos datos con los parámetros cristaloquímicos de las illitas de los niveles de lutitas intercalados y con las medidas de la reflectividad de la vitrinita en areniscas de áreas muy próximas a la estudiada. Asociados a lentejones de areniscas, intercaladas con los conglomerados basales, aparecen mineralizaciones de uranio en forma de óxidos (torbernita), que cementan y reemplazan fundamentalmente a la matriz de estas areniscas.

## ABSTRACT

This research is part of a project concerned with the provenance and diagenesis of Triassic and Permian sandstones of the Iberian Range.

The red sandstones of Saxonian and Buntsandstein facies are quartzarenites and sublitharenites which in the middle of Buntsandstein progressively increase in feldespars and finally they are arkoses.

By using the different types of quartz grains and the composition of heavy minerals, we have found the provenance of these sandstones.

In the Saxonian sandstones the provenance is fundamentally from low and middle rank, metamorphic rocks with subordinated igneous influence. In the Buntsandstein sandstones the mineral association shows that the provenance is more complex in this area of the Iberian Range: low, middle and high rank metamorphic rocks (with gneisses included). The gneisses influence increases progressively to the top.

The most characteristic diagenetic aspects are: silica and kaolinite as cement, being most abundant in the bottom and the top of the Buntsandstein facies. Secondly we have found ferric-oxide as cement in the Saxonian and K-feldspar in the top of Buntsandstein. Other frequent diagenetic processes are the alteration of K-feldspar and volcanic rock fragments to illite and kaolinite (epimatrix) and breakage of metamorphic rocks with strongly mechanical compaction (pseudomatrix).

The pression-solution phenomena are moderated (concave-convex contact).

The principal observation concerning the burial diagenesis show that we are in the Mesodiagenesis mature «B» of SCHMIDT and McDONALD (1979) which is corroborated by the crystallinity of illites in the intercalated lutites and by the vitrinite Ro in some sandstones near to the study area. Associated with channels of sandstones intercalated in the basal conglomerates, we have found Uranium — bearing sandstones. The Uranium minerals, principally oxides, are as pore filling and replacing the grains and the matrix of these sandstones.

(\*) Empresa Nacional del Uranio, S. A. Avda. de Valladolid, 81. Madrid-8.

(\*\*) Departamento de Petrología. Facultad de Ciencias Geológicas. Madrid-3.

## 1. INTRODUCCION

La composición de las areniscas está estrechamente relacionada con el carácter de las áreas fuentes, con los procesos sedimentarios en la cuenca de sedimentación y, como últimamente se ha demostrado, con la naturaleza e intensidad de los procesos diagenéticos sufridos por los sedimentos. Asimismo, para DICKINSON and SUCZEK (1979) la clave de las relaciones entre procedencia y cuenca de sedimentación está gobernada por la tectónica de placas, la cual, en última instancia, controla la distribución de los diferentes tipos de areniscas.

En esta línea de investigación, y continuando con trabajos realizados anteriormente por MARFIL et al. (1977); GARCÍA PALACIOS et al. (1977); ARRIBAS (1980); ARRIBAS et al. (1980); MARFIL y BUENDÍA (1981), nos proponemos interpretar la procedencia del conjunto de areniscas Saxonien-ses y del Buntsandstein del área de El Pobo de Dueñas (Guadalajara). Para ello se han elegido:

- a) La confección de diagramas triangulares (Q, F, FRL).
- b) El estudio de la tipología de los cuarzos según el método de BASU et al. (1975).
- c) El estudio, ya clásico, de los minerales pesados.

Los datos obtenidos son comparados entre sí, así como con los trabajos anteriormente citados y que han sido realizados sobre las mismas areniscas en otras áreas de la Cordillera Ibérica.

En una segunda parte se estudian los principales procesos diagenéticos que han afectado a estos sedimentos. Entre ellos: cementación, reemplazamientos, fenómenos de disolución por presión, formación de matriz diagenética, etc., y como complemento, y con la finalidad de obtener datos cuantificables sobre el grado diagenético alcanzado, hemos estudiado los minerales de la arcilla de los niveles lutíticos intercalados en estas areniscas, determinando una serie de parámetros cristaloquímicos tales como la cristalinidad de la illita y el contenido en Al, Fe y Mg de las mismas.

## 2. SITUACION GEOGRAFICA Y GEOLOGICA

La zona objeto de estudio se encuentra situada en la provincia de Guadalajara, en la región nor-oriental de Molina de Aragón, enmarcada dentro de la Hoja núm. 515 (El Pobo de Dueñas) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 (figura 1).

Geológicamente abarca parte de la zona central de la Cordillera Ibérica. A gran escala queda limitada septentrionalmente por los núcleos paleozoicos de Aragoncillo y de las Sierras de El Pobo y Menera.

## 3. METODOLOGIA

El trabajo de campo consistió en el levantamiento de una columna general del Buntsandstein y dos cortes del Saxoniense y el estudio detallado de tres calicatas ubicadas en los conglomerados del Buntsandstein, acompañado todo ello del muestreo correspondiente.

Entre las técnicas de laboratorio podemos citar: realización de secciones delgadas en todas

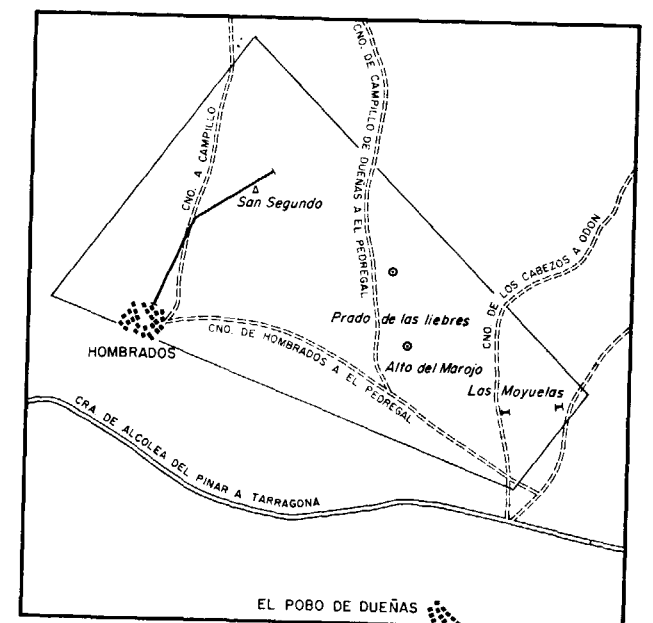


Figura 1.—Esquema de situación de la zona estudiada sobre el Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 de la Hoja núm. 515.

aquellas muestras cuya consolidación lo permitía, análisis modal (cuenta sobre 200 granos) para la determinación cuantitativa de la mineralogía, habiendo servido para su posterior clasificación y proyección, según el diagrama de DOTT (1964).

Con el objeto de interpretar la procedencia de estas areniscas se ha realizado el estudio de minerales pesados mediante separación por líquidos densos y su posterior montaje en lámina delgada. Asimismo se ha estudiado la tipología de los cuarzoides utilizando el método de BASU et al. (1975).

Para el análisis de la composición de las muestras arcillosas hemos realizado difractogramas de rayos X, tanto de la muestra total como del agregado orientado de la fracción menor de 2  $\mu$ , previamente separada por decantación.

Por último, hemos realizado análisis mediante microsonda electrónica de los feldespatos y su crecimiento secundario para tener un conocimiento más exacto de su composición y génesis.

#### 4. ANTECEDENTES

Han sido muy pocos los trabajos geológicos realizados en esta zona, siendo éstos de índole geológico regional. Únicamente existen algunos estudios petrológicos y sedimentológicos en zonas próximas.

VILLENA (1971) propone para la región de Molina de Aragón una subdivisión del Buntsandstein en cinco horizontes, llevando a cabo su estudio sedimentológico. Describe unos materiales detríticos rojos compuestos por argilitas, areniscas y cuarcitas, que descansan sobre el Carbonífero, indicando la posibilidad de que pertenezcan al Pérmico Rotliegendes y sean equivalentes a las «Capas de Montessoro».

RAMOS (1979), en su tesis doctoral, realiza el estudio estratigráfico y paleogeográfico del Pérmico y Triásico en una amplia zona situada al oeste de Molina de Aragón, estableciendo seis unidades litoestratigráficas para el Buntsandstein y dividiendo en dos subunidades a las facies detríticas rojas pérmicas (Saxoniense). Estas facies, desde un punto de vista sedimentológico, las interpreta como abanicos aluviales de clima árido-semiárido. En cuanto al Buntsandstein, las unidades infe-

riores («Conglomerados de la Hoz del Gallo», «Areniscas de Rillo de Gallo» y «Nivel de Prados») representan una evolución desde facies próximas de un abanico aluvial, formado por corrientes «braided», hasta depósitos de corriente de alta sinusoidad, pasando por facies medias y distales. La unidad «Areniscas del río Arandilla» y la parte más inferior de la de «Limos y areniscas de Rillo» representan depósitos de corriente de baja sinusoidad que evolucionarían en la parte media a depósitos de corrientes de alta sinusoidad. La parte superior de la misma representa variaciones sedimentológicas características interpretándola como supramareal. La unidad «Limos y areniscas abigarrados de Torete» presenta unas características que indican de forma más clara condiciones mareales.

CAPOTE et al (1981) estudian una amplia zona en el tercio Noroccidental de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica, reconstruyendo su historia geológica. Señalan que el Buntsandstein constituye una litofacies detrítico-terrágena característica en la que distinguen cuatro tramos bien diferenciados. En resumen, el Buntsandstein lo interpretan como un conjunto de abanicos estuarinos. En cuanto a las facies Saxonienses, las interpretan como abanicos aluviales en clima árido-semiárido.

#### 5. ESTUDIO ESTRATIGRAFICO

El Pérmico en facies Saxoniense lo hemos estudiado a partir del levantamiento de dos columnas estratigráficas, ambas se encuentran situadas en el paraje denominado Las Moyuelas (figs. 1 y 2).

Corte 1. Su potencia es de 4 m. y sus coordenadas son:

Lat. 40° 47' 48" y Long. 2° 2' 52".

En discordancia con pizarras silúricas muy ferruginizadas, aparece una brecha arcillo-ferruginosa polimíctica con cantos de pizarras de colores amarillentos (limonitizados). El tamaño medio de los cantos de pizarra es de 0,5 cm. Dispersos hay cantos de cuarzo y cuarcita de tamaño medio de 4 a 8 cm. Hacia el techo el conglomerado se hace oligomíctico con cantos de cuarzo y metacuarcita en una matriz arenosa. El cemento sigue siendo ferruginoso y alterna con niveles de arenisca.

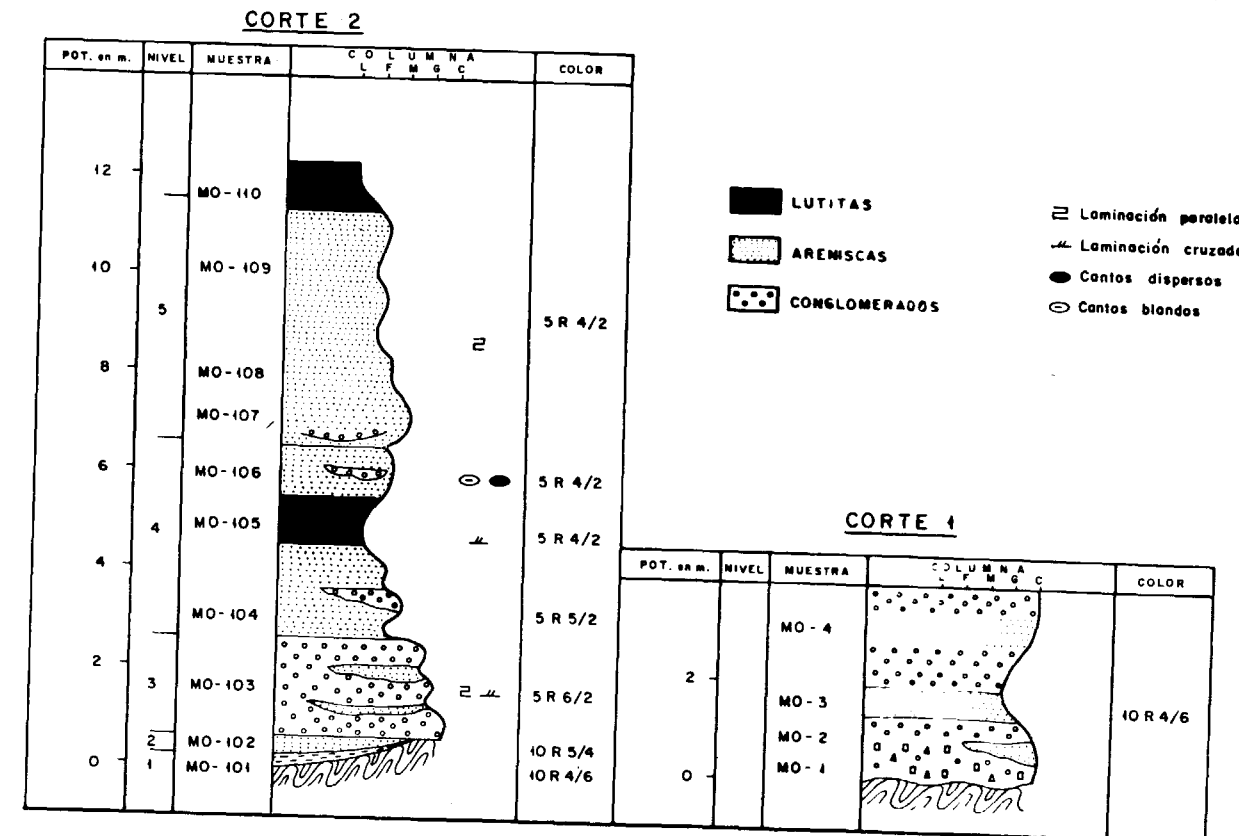


Figura 2.—Cortes del Saxoniense.

Corte 2. Su potencia total es de 12 m., siendo sus coordenadas:

Lat. 49° 47' 44" y Long. 2° 2' 38".

Discordante con las pizarras silúricas aparece una alternancia de lutitas y areniscas de tonos vinosos con algún pequeño nivel de conglomerados (fig. 3). De muro a techo distinguimos:

1. 0 a 0,20 m. de lutitas rojas oscuras (10R4/6).
2. 0 a 0,40 m. de areniscas muy micáceas, de grano fino, color 10R5/4.
3. 1,80 a 2 m. de conglomerados de cantos de cuarzo y metacuarcita y escasos de liditas, color 5R6/2. En general presentan escasa matriz arenosa, aunque existen pequeños niveles más arenosos. Es muy heterométrico y en la base el tamaño de los cantos es de 4 a 8 centímetros, siendo el centil de 12 cm., mientras que hacia el techo el tamaño medio es de 2 a 4 cm. y el centil de 13 cm. Los cantos son subredondeados, algunos tienen huellas de disolución por presión y pátina ferruginosa. In-

tercalados hay niveles de areniscas muy micáceas con laminación cruzada y paralela.

4. 4 m. de areniscas de grano fino, color 5R5/2, con lentejones de conglomerados con poca matriz y cantos con huellas de disolución por presión. Las areniscas son micáceas y tienen laminación cruzada.

En este tramo se intercala un nivel de 1 m. de lutitas y areniscas de grano muy fino, color 5R4/2, finamente laminadas. Sobre las lutitas las areniscas presentan cantos blandos de arcilla y su grano es de medio a fino.

5. 4 a 5 m. visibles de areniscas de grano fino, color 5R4/2. Se observa granoselección decreciente. En la base hay un depósito de «lag». Al techo pasan a lutitas arenosas.

La potencia del Saxoniense en esta zona, medida en sondeos realizados en el Alto del Marajo (fig. 1), muy próximo a los cortes descritos por nosotros, es de 21 m. Esta facies en sondeos es muy similar a la descrita en campo, la única



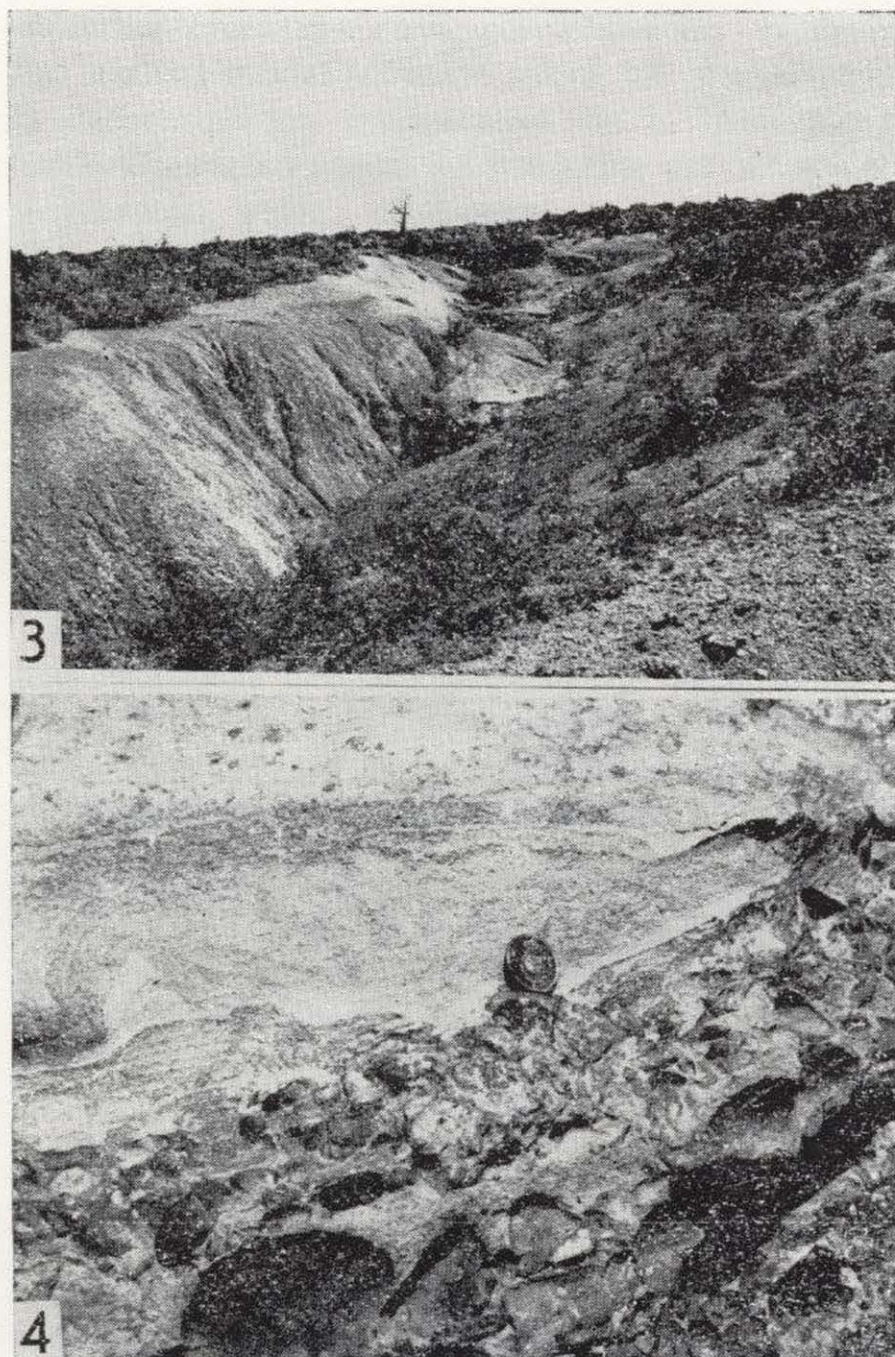


Figura 3.—Contacto entre las pizarras silúricas y las lutitas y areniscas rojas del Pérmico (facies Saxoniense).

Figura 4.—Lentejón de areniscas, huellas de cantos mineralizados y restos de materia orgánica en una de las calicatas.

nueva observación es la presencia al techo y en el tránsito hacia el Buntsandstein de un conglomerado de cantos blandos arcillosos y ferruginosos de 3 m. de potencia.

El estudio del Buntsandstein se ha realizado sobre la columna de campo del Cerro de San Segundo, complementándolo con el desmuestre realizado en tres calicatas situadas en el paraje denominado Alto del Marajo.

Se han efectuado además observaciones parciales y se han cogido muestras en los alrededores de Castellar de la Muela, donde los afloramientos, sobre todo al techo de la serie, son mejores que en el Cerro de San Segundo.

Las tres calicatas muestreadas están ubicadas en los conglomerados de base del Buntsandstein, presentando numerosos cuerpos lenticulares de areniscas intercaladas. Dichas calicatas se abrieron debido a su posible interés uranífero y en ellas aparecen minerales secundarios de uranio (figura 4).

La columna general del Buntsandstein fue levantada mediante cortes parciales. Se extiende desde el Cerro de San Segundo al NO del Pobo de Dueñas, hasta la localidad de Hombrados (figura 5). Sus coordenadas son:

Muro: Long. 2° 1' 11" Lat. 40° 49' 25"

Techo: Long. 2° 0' 7" Lat. 40° 48' 8"

El corte tiene una potencia total de 615 m. Hemos subdividido la serie en tres grandes tramos:

- 1) Tramo inferior, constituido por los primeros 170 m. integrados por conglomerados, presentando intercalados numerosos lentejones de areniscas.

Los conglomerados están organizados en bancos groseros con una cierta estratificación cruzada, observándose a veces alguna alineación en los cantos (fig. 6).

Las areniscas presentan tanto estratificación paralela como cruzada (fig. 7) y hay algo de laminación paralela. También se observan costras ferruginosas con nódulos de materiales férricos limonitizados.

Los conglomerados están constituidos fundamentalmente por cantos de metacuarcita, subredondeados-redondeados; su tamaño máximo varía de 15 a 20 cm., siendo el medio de 3-5 cm. Presentan numerosas huellas de disolución por presión. La matriz es areniscosa.

- 2) Tramo medio, comprendido entre los 170 y 520 m., constituido por una serie de areniscas generalmente rojas y sólo en ocasiones grises (fig. 8); el tamaño de granos varía de fino a grueso, dominando el tamaño medio. Presentan algún nivel de lutitas intercaladas de pequeña potencia; hacia el techo se observa la frecuente formación de anillos de Liesegang (fig. 9).
- 3) Tramo superior. Comienza a los 520 m. y está representado por una serie de areniscas grises



## COLUMNA DEL CERRO DE SAN SEGUNDO

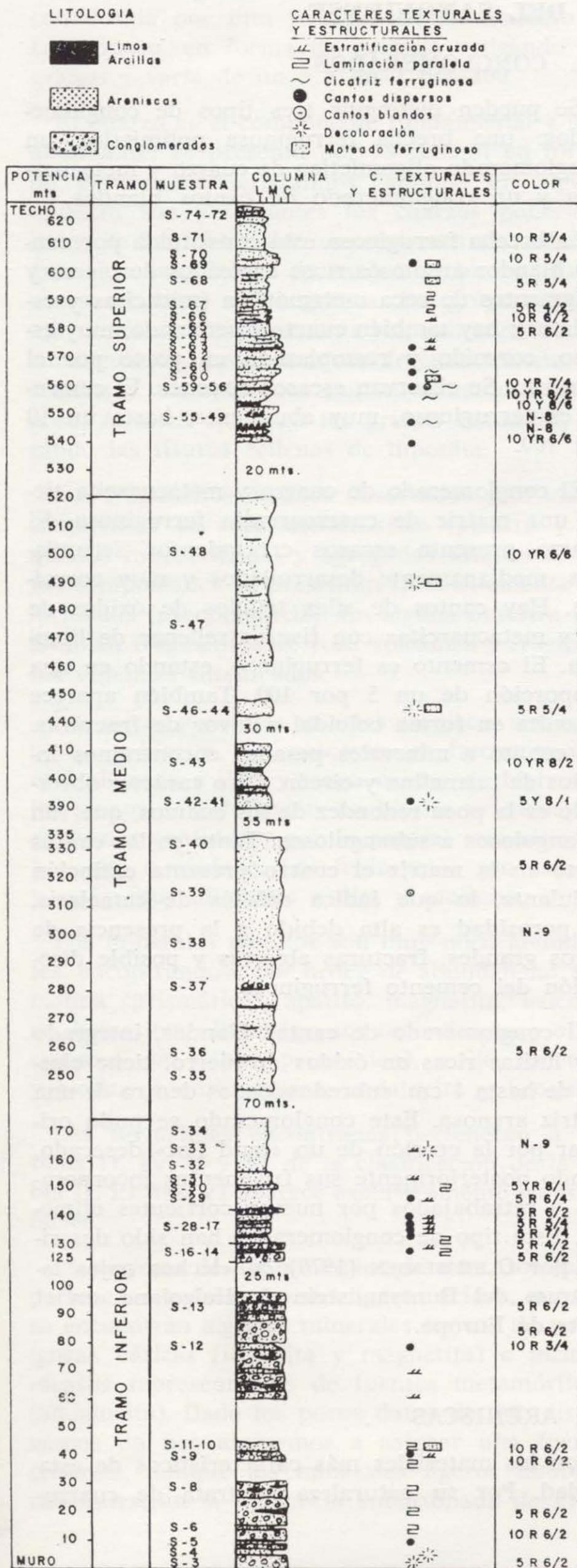


Figura 6.—Aspecto de los conglomerados basales con organización interna (estratificación cruzada de gran escala).

Figura 7.—Detalle de estratificación cruzada, ligeramente de surco, en las areniscas del tramo inferior.

Figura 8.—Estratificación cruzada de surco en las areniscas del tramo medio.

Figura 5.—Columna (general) del Buntsandstein en el cerro de San Segundo.



con intercalaciones de lutitas más o menos abundantes. El tamaño de grano varía de medio a grueso. Es frecuente que presenten cantos dispersos. También se observan cicatrices ferruginosas y estratificación cruzada de surco de gran escala con superficies de discontinuidad (fig. 10). Casi todos los tramos presentan cicatrices erosivas y los niveles se acuñan lateralmente.

El techo de la columna lo constituye una alternancia de areniscas con cemento calcáreo, margas y lutitas rojas y grises.

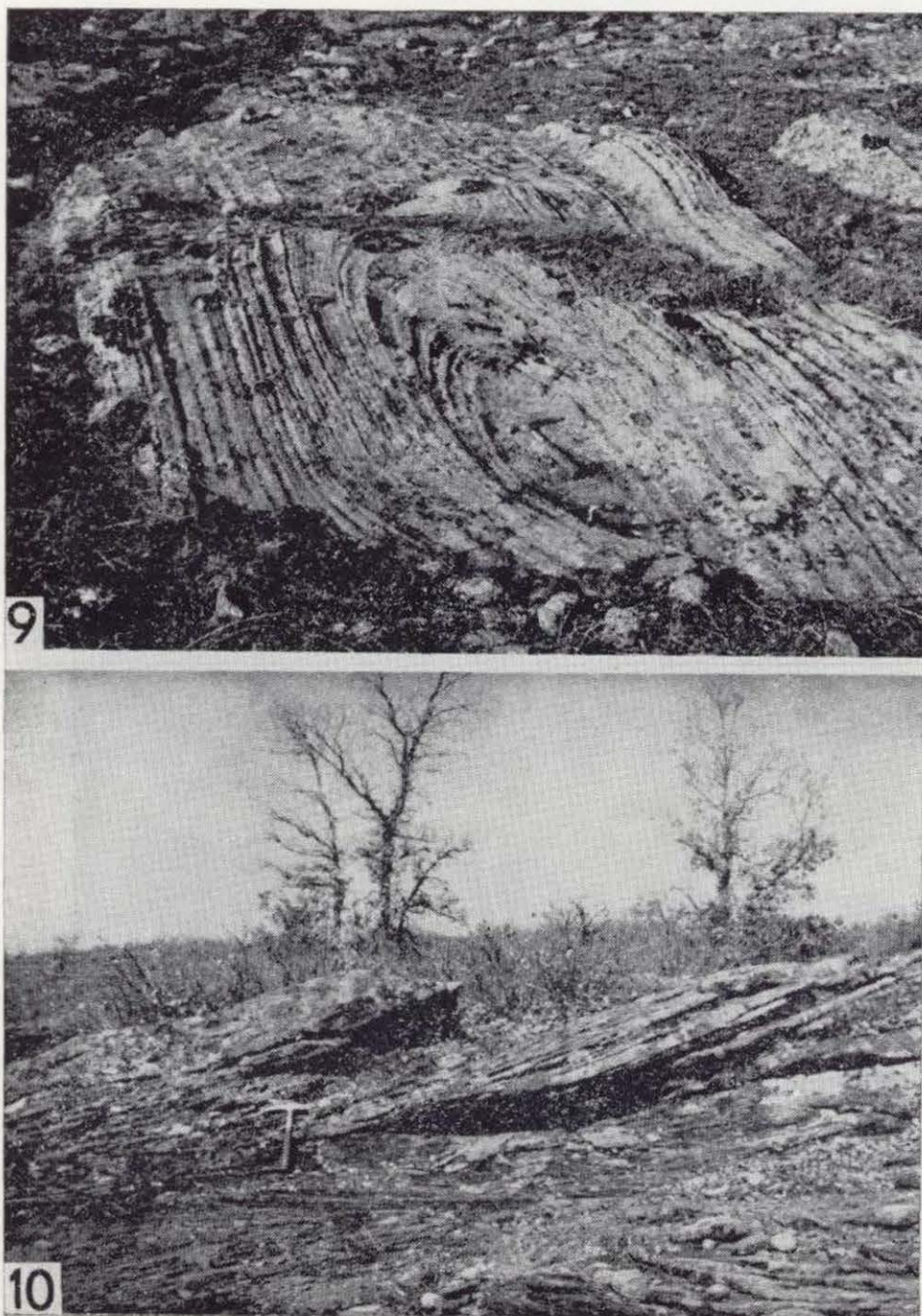


Figura 9.—Areniscas del tramo medio en las que se observa la formación de anillos de Liesegang.

Figura 10.—Estratificación cruzada de gran escala con superficies de discontinuidad en las areniscas del tramo superior.

## 6. ESTUDIO PETROLOGICO DEL SAXONIENSE

### 6.1. CONGLOMERADOS

Se pueden distinguir tres tipos de conglomerados: una brecha ferruginosa polimíctica, un conglomerado oligomíctico de cuarzo y metacuarcita y un conglomerado de cantos blandos.

La brecha ferruginosa está constituida por cantos blandos arcillosos ricos en óxidos de hierro y fragmentos de roca metamórfica (micacitas y esquistos); hay también cuarzo diseminado, muy escaso, corroído y reemplazado en parte por el cemento. Se observan escasos circones. El cemento es ferruginoso, muy abundante, hasta un 10 por 100.

El conglomerado de cuarzo y metacuarcita tiene una matriz de cuarzoarenita ferruginosa. El cuarzo presenta escasos crecimientos secundarios, medianamente desarrollados y muy corroídos. Hay cantos de sílex teñidos de óxidos de Fe y metacuarcitas con fisuras rellenas de limonita. El cemento es ferruginoso, estando en una proporción de un 5 por 100. También aparece limonita en forma coloidal a favor de fracturas. En cuanto a minerales pesados encontramos indicios de turmalina y circón. Otro carácter observado es la poca redondez de los cuarzoes, que van de angulosos a subangulosos. Tanto en los cantos como en la matriz el cuarzo presenta extinción ondulante, lo que indica señales de cataclasis. La porosidad es alta debido a la presencia de poros grandes, fracturas abiertas y posible disolución del cemento ferruginoso.

El conglomerado de cantos blandos, integrado por lutitas ricas en óxidos de hierro, tiene clastos de hasta 1 cm. subredondeados dentro de una matriz arenosa. Este conglomerado se pudo originar por la erosión de un «mud flat» desecado, siendo posteriormente sus fragmentos incorporados y retrabajados por nuevas corrientes efímeras. Este tipo de conglomerados han sido descritos por CLEMMENSEN (1979) en «lechos rojos lacustres» del Buntsandstein de Helgoland, en el norte de Europa.

### 6.2. ARENISCAS

Son los materiales más característicos de esta unidad. Por su naturaleza se trata de cuarzo-



arenitas ferruginosas. La matriz es escasa y está constituida por ilita y caolinita. El cemento es ferruginoso, en forma de película rodeando los granos y varía de un 5 a un 7 por 100.

El cuarzo es el componente fundamental y más abundante; se presenta por lo general en forma de granos monocristalinos, aunque en alguna muestra son abundantes los cuarzos policristalinos. Se han observado crecimientos secundarios gracias a las pátinas de óxidos de hierro, que a veces recubren a los granos. Su proporción es muy variable. Texturalmente son subredondeados-subangulosos, presentándose frecuentemente corroídos y reemplazados por el cemento ferruginoso. A veces aparecen los granos fisurados, estando las fisuras rellenas de limonita.

Los fragmentos de roca observados son: chert, fragmentos de roca metamórfica (pizarra y esquistos moscovíticos) y agregados arcillosos. Estos componentes se presentan frecuentemente deformados (pseudomatriz). En alguna muestra hay también fragmentos de roca volcánica y fragmentos vegetales silicificados.

Las micas presentes en estas areniscas son moscovita y biotita. La moscovita es frecuente que esté alterada a ilita y tenga óxidos de hierro en los planos de exfoliación. La biotita se encuentra en menor cantidad y por lo general está alterada a clorita u oxidada. Los feldespatos son escasos y están muy alterados a ilita y caolinita.

Los minerales pesados son muy poco abundantes, encontrándose por orden de abundancia: turmalina (prismática), apatito, magnetita, leucoxeno, hematites, circón (granos redondeados y otros circones con hábito prismático), rutilo, ilmenita y biotita y, como trazas, andalucita y broquita.

Las turmalinas encontradas pertenecen a los tipos II, IV, V y VI de la clasificación de la tabla II. El tipo VI aparece exclusivamente en estas facies.

La mayoría de los minerales de esta asociación pertenecen a áreas fuentes ígneas ácidas, aunque se encuentran algunos minerales típicos de rocas ígneas básicas (ilmenita y magnetita) e incluso escasos representantes de fuentes metamórficas (andalucita). Dado los pocos datos de que disponemos no nos atrevemos a asignar una fuente concreta, aunque los minerales ligeros también nos muestran la existencia subordinada de FRM

(pizarras y esquistos) y de FRV, porfídicos que indicarían la existencia de varios tipos de áreas fuentes.

En cuanto a los caracteres texturales de estas areniscas podemos decir que el tamaño medio, medido sobre los granos de cuarzo, oscila entre 0,125 y 0,5 mm., siendo por lo general areniscas de grano medio, normalmente subangulosas y con selección moderada.

### 6.3. LUTITAS

Las lutitas de la facies Saxoniense están constituidas por minerales de arcilla, cuarzo y hematites subordinada. La composición de los minerales de arcilla es fundamentalmente íltica, con coalinita escasamente representada.

Hemos calculado los parámetros cristaloquímicos de la ilita, deduciendo que son pobres en aluminio y tienen una cristalinidad más bien baja. En el apartado correspondiente a las lutitas del Buntsandstein se tratará con más detalle de los datos obtenidos y se hará una comparación entre ambos depósitos arcillosos.

## 7. ESTUDIO PETROLOGICO DEL BUNTSANDSTEIN

### 7.1. NIVELES DETRITICOS GRUESOS (CONGLOMERADOS Y ARENISCAS)

Hemos realizado el análisis modal sobre las secciones delgadas de las areniscas y conglomerados de cantos pequeños más aptos para este tipo de estudio.

El componente mayoritario es el cuarzo, con porcentajes que varían entre un 44 y un 91 por 100. El feldespato potásico está ausente en el tramo inferior, comenzando a aparecer a partir de los 170 m. en cantidades escasas o accesorias (1-3 %), para aumentar notablemente hacia los 390 m. (7-28 %).

Las micas aparecen con contenidos escasos, menores del 10 por 100. En general, el contenido en matriz es medianamente abundante, aunque menos del 15 por 100, observándose que el mayor porcentaje corresponde con la ausencia de feldespatos, y que cuando empiezan a aparecer éstos, disminuye sensiblemente la matriz. Esto

nos hace pensar que en realidad la verdadera matriz alogénica (láminas de arcilla, cantos blancos, etc.) es muy escasa y que la que domina es de tipo epimatriz (DICKINSON, 1970) de origen diagenético, debido a la alteración de feldespatos, sobre todo.

Se han proyectado todas las muestras en el diagrama Q-F-FRL tal como muestra la figura 11. En ella se han podido separar dos conjuntos bastante diferenciados: por una parte, los pertenecientes al campo de las sublitoarenitas y cuarzoarenitas, que son las muestras correspondientes a los primeros 170 m. del corte. El resto de las muestras son feldespáticas, situándose agrupadas en el campo de las subarcosas y de las arcosas.

#### 7.1.1. Descripción de los componentes mineralógicos

El cuarzo es el componente fundamental en todo el corte. Se presenta como cuarzo monocristalino (fig. 12) y como cuarzo policristalino. El

cuarzo monocristalino tiende a dar formas más esféricas que el policristalino. Interiormente los granos de cuarzo presentan inclusiones variadas. Como un tipo especial de cuarzo policristalino se han encontrado granos de «chert» bastante redondeados (fig. 13).

El *feldespato potásico* es el segundo componente fundamental, siendo el único tipo de feldespato presente en la serie. Tiende a dar formas subeuhedrales y normalmente aparece bastante fracturado y alterado a minerales de arcilla.

La *mica* no es un mineral importante, siendo frecuentemente accesorio. Está constituida por moscovita y biotita, siendo la primera más abundante. También se encuentra clorita como producto de transformación de la biotita. Normalmente aparece de forma dispersa y muestra a menudo óxidos de hierro en los planos de exfoliación.

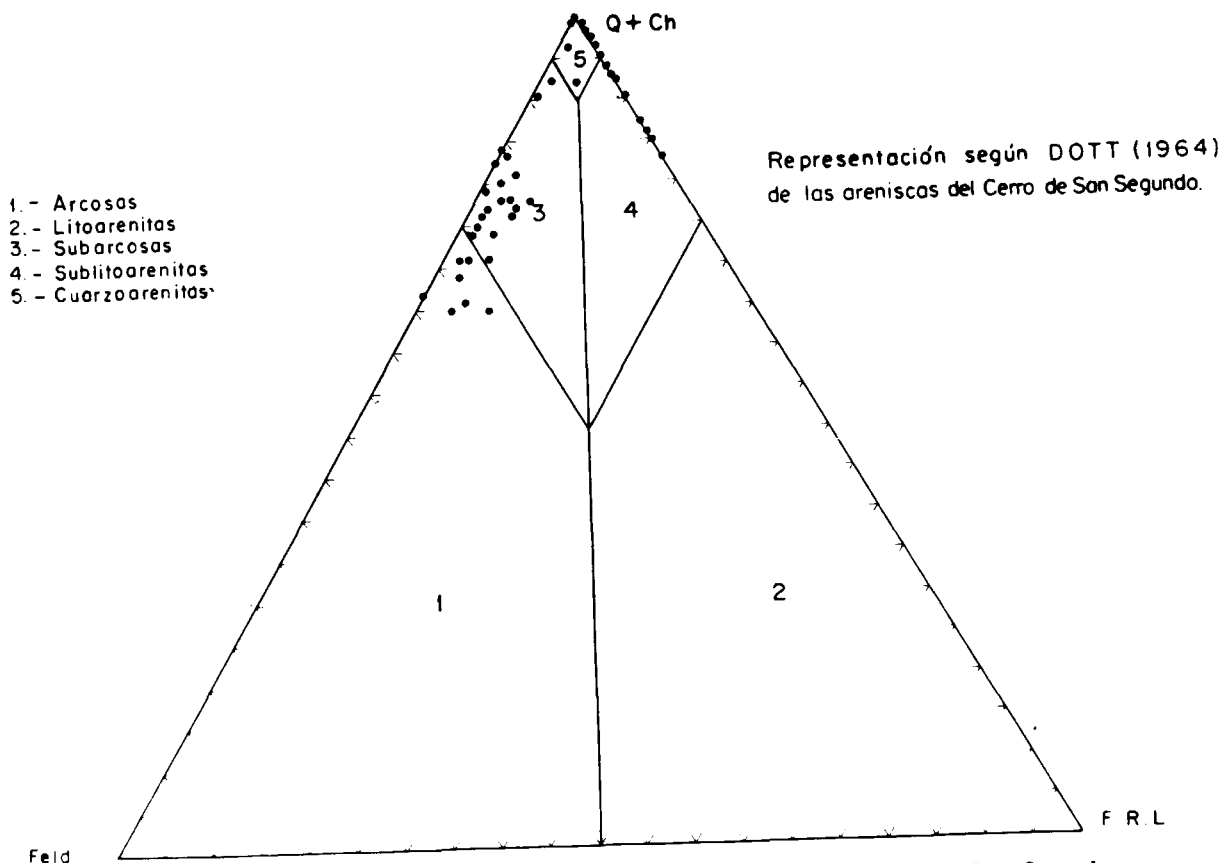


Figura 11.—Representación, según DOTT (1964), de las areniscas del Cerro de San Segundo.



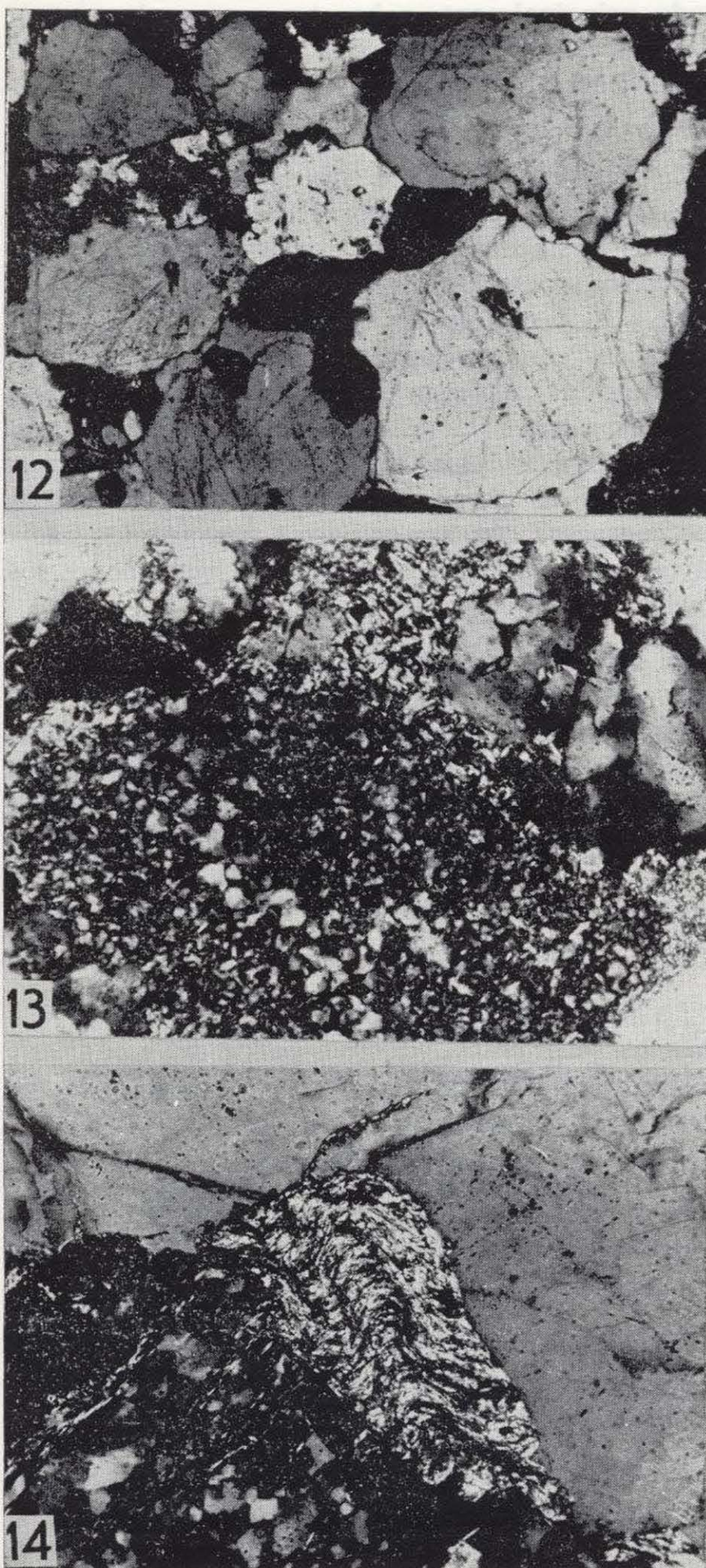


Figura 12.—Cuarzos monocristalinos. Se observan crecimientos secundarios enfatizados por películas de óxidos de Fe. NC.  $\times 50$ .

Figura 13.—Detalle de un grano de Chert. NC.  $\times 125$ .

Figura 14.—Grano de esquistó micáceo replegado y perfectamente adaptado a los granos de cuarzo monocristalinos en una subarcosa. NC.  $\times 50$ .

Dentro de los *fragmentos de roca* encontrados son frecuentes los fragmentos de pizarras ílticas y esquistos moscovíticos, normalmente alterados y deformados, dando matriz diagenética, pseudomatriz sobre todo (fig. 14). Esporádicamente se encuentran cantos blandos arcillosos y fragmentos de roca volcánica muy alterados con texturas irreconocibles (fig. 15).

El componente fundamental de la *matriz* es la ílita, aunque en todas las muestras se presenta caolinita y ocasionalmente, sobre todo hacia el techo de la serie, llega a dominar. Ambas se suelen presentar como epimatriz y la caolinita también como «pore filling» de grandes vermículos, sobre todo en el tramo superior de la columna (fig. 16).

#### Cemento.

Aparecen dos tipos de cementos casi constantes a lo largo de la columna: el cemento ferruginoso y el cemento silíceo. Este se presenta en forma de crecimientos sintaxiales de los granos de cuarzo, pudiendo diferenciarse ambas zonas gracias a la película de óxidos de hierro interpuesta (fig. 12). Los recrecimientos, en ocasiones, están muy desarrollados, llegando a dar los cristales un mosaico con contactos rectos.

Los *óxidos de hierro* aparecen como películas rodeando a los granos de cuarzo, según fisuras, planos de exfoliación de micas, planos de macla de feldespatos. También afectan a fragmentos de roca y tiñen a la matriz.

En las calicatas se observan a simple vista *mineralizaciones de uranio*, que aparecen tanto tapizando los cantos de los conglomerados como diseminados en los lentejones de arenisca intercalados. El estudio de muestras mineralizadas de las calicatas nos lleva a la conclusión de que se trata de torbernita, mineral secundario de uranio, el cual hemos observado que aparece en distintas asociaciones. Se encuentra como cemento, rellenando poros y reemplazando a la matriz (fig. 17). También se encuentra asociado al chert, rellenando fisuras de cuarzo y a favor de los planos de exfoliación de las micas.

#### 7.1.2. Caracteres texturales de las areniscas

El tamaño de grano de las areniscas varía de fino a grueso, pero domina en general el tamaño medio (0,25-0,50 mm.). La redondez se ha obser-



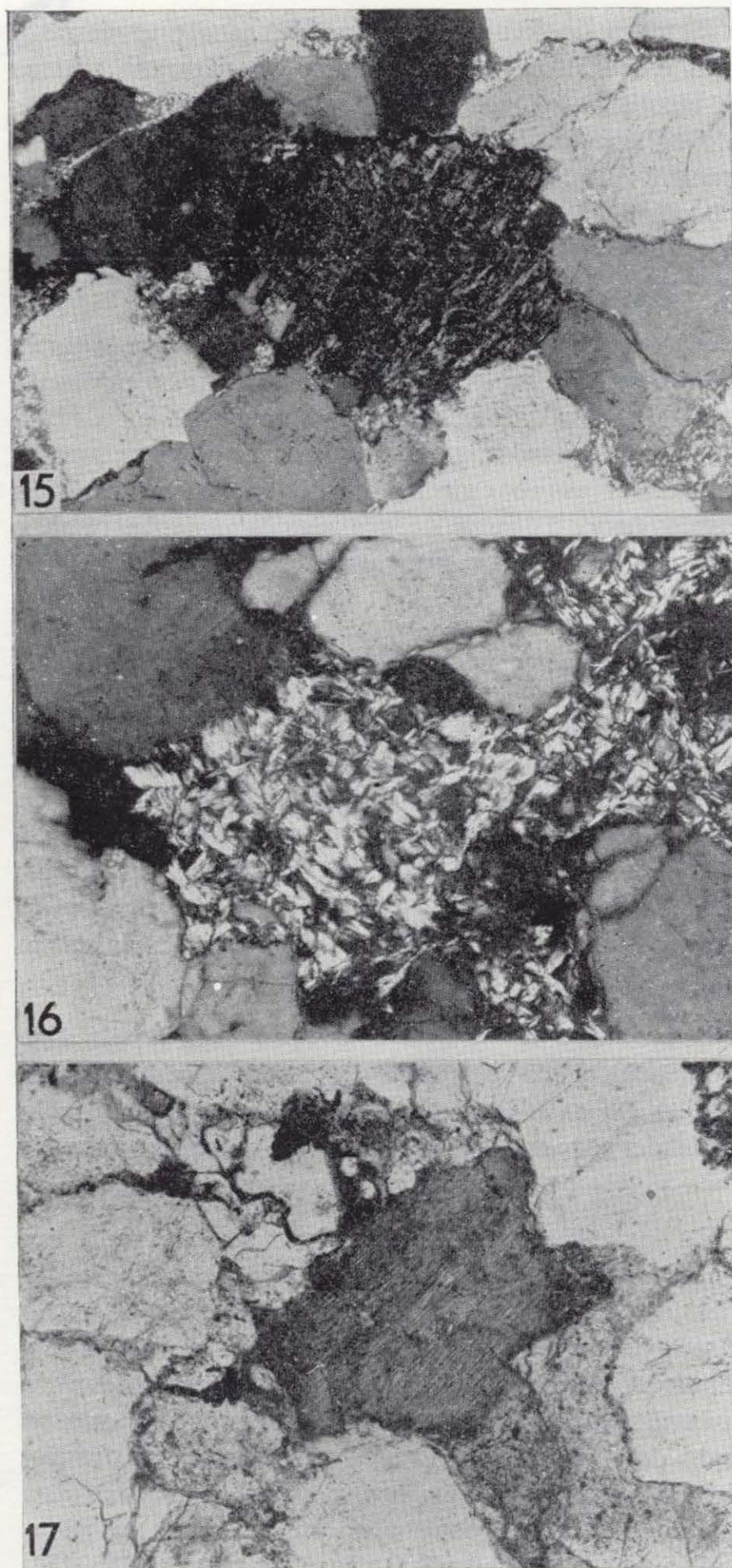


Figura 15.—Fragmento de roca volcánica muy alterada en reacción con la escasa matriz y con los cuarzos y su crecimiento sintaxial. NC.  $\times 50$ .

Figura 16.—«Pore filling» de caolinita en una sublitoarenita. Los «vermiculos» de caolinitas parecen corroer al cuarzo. NC.  $\times 125$ .

Figura 17.—Detalle de cemento de torbernita rellenando un poro. NP.  $\times 125$ .

vado principalmente sobre los granos de cuarzo, variando de subangulosos a subredondeados. Generalmente las muestras son bastante heterométricas, siendo la selección moderada-mala.

Se han estudiado los tipos de contactos que presentan los granos, representándolo en la figura 18. Destacan por su mayor proporción los contactos cóncavo-convexos, seguidos de los rectos. A lo largo de la serie se observa que los contactos cóncavo-convexos parece que están en relación inversa con los contactos rectos. Esto también ocurre en el caso de contactos suturados comparándolos con los cóncavo-convexos. Asimismo, se observa una ligera disminución de los contactos cóncavo-convexos y suturados hacia el techo de la serie, aumentando ligeramente los contactos rectos.

El alto porcentaje de contactos cóncavo-convexos nos indica la existencia de fenómenos de disolución por presión en un grado moderado, indicando los contactos rectos cementación silícea en continuidad óptica, en una etapa bastante temprana de la diagénesis.

### 7.1.3. Estudio de la procedencia

La procedencia del conjunto de materiales detríticos se intentó deducir a partir del estudio de los minerales pesados y de la tipología de los granos de cuarzo en las areniscas.

El estudio de los *minerales pesados* se realizó a partir del montaje de los granos de 12 muestras escogidas entre los tamaños más idóneos para su concentración (0,25-0,125 mm.).

El contenido de minerales pesados es muy bajo frente a la totalidad de los componentes, variando entre 0,05 y 0,3 por 100 del total de la muestra.

En la tabla I se recogen los porcentajes de los distintos componentes mineralógicos presentes. Se han podido recopilar las siguientes especies de minerales pesados transparentes: turmalina, apatito, circón, leucóxeno y biotita, y dentro de los opacos: magnetita, hematites, limonita e ilmenita. Hemos reconocido también, aunque en proporciones no cuantificables: torbernita y óxidos negros en hematites en muestras de las calicatas, y además, monacita, anatasa y estaurolita.

De las especies transparentes citadas, la más



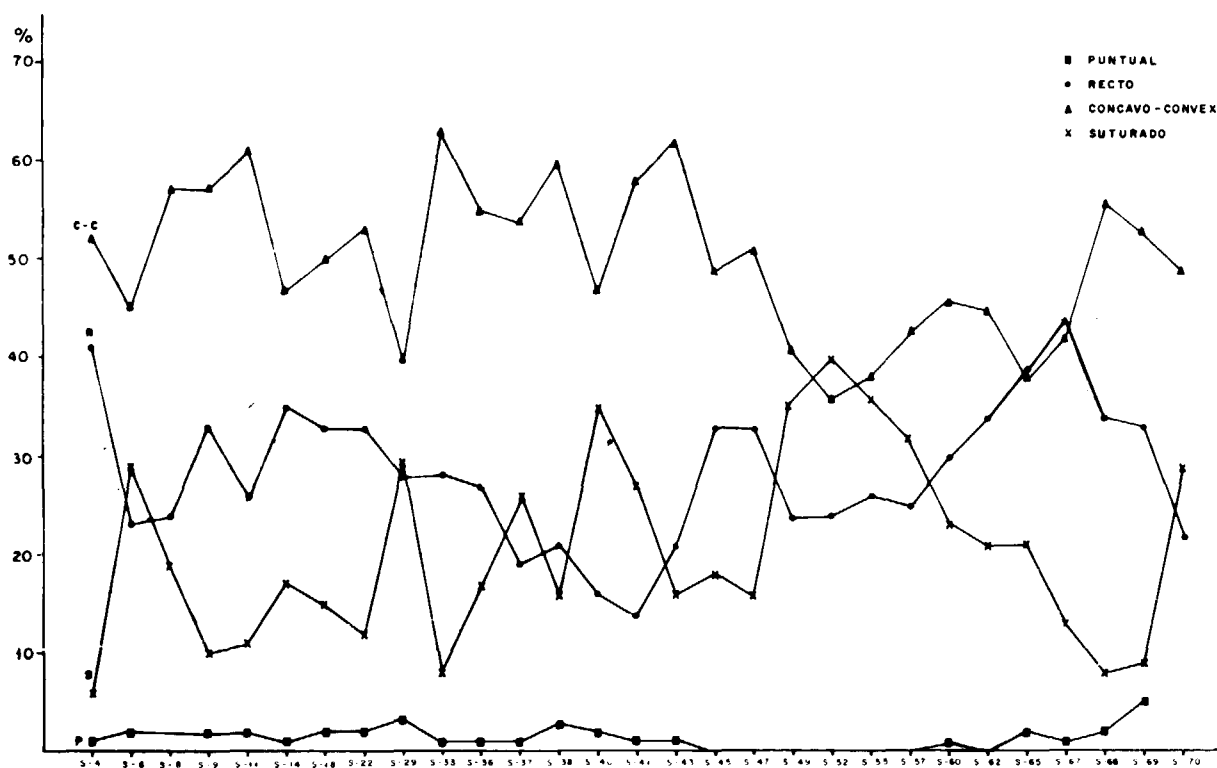


Figura 18.—Tipo de contactos dominantes entre granos. Columna del Cerro de San Segundo.

**TABLA I**  
**Porcentajes y tipos de minerales pesados**

MUESTRA	% MINERALES PESADOS	MAGNETITA	HEMATITES	LIMONITA	ILMENITA	LEUCOXENO	RUTILO	APATITO	TURMALINA	BIOTITA	CIRCON	OTROS MINERALES NO CUANTIFICADOS
MO-108	0,059	12	7		2	9	3	17	43	2	5	Andalucita Brookita
C-II-C	0,3186	4	20	30					40		6	Min. Uranio en hematites
C-II-D	0,2458		45	13					37		5	
C-III-5	0,0582	9	1			30	4	4	40		12	Torbernita
S-4	0,051	1	3	trazas		27	trazas	1	67	trazas	1	
S-12	0,0956	8	31	trazas		2	trazas		40	3	16	
S-17	0,1476	7	53	3		7		1	16	12	1	
S-33	0,0742	20	4		2	25	2	2	42	2	1	Monacita
S-44	0,1008	4	1			26		13	46	3	7	Anatasa Estaurolita
S-47	0,0676	21		trazas	1	19			55		4	
S-50	0,0582	2	trazas		trazas	44	trazas	1	51	trazas	2	Estaurolita
S-71	0,0886		2		18	9	trazas	2	64	trazas	5	



abundante es la turmalina, seguida por leucoxeno, circón y apatito.

La turmalina se presenta como prismas cortos y como granos redondeados. También presenta una gama variadísima de colores. Hemos distinguido varios tipos por sus clases y pleocroísmos. Tabla II según VAN LOON (1972).

- I. De gris sucio a negro.
- II. Marrones y amarillo a marrón.
- III. Marón-verde azulado.
- IV. Verdes.
- V. Azules.
- VI. De incoloros a tonos rosados o rojizos oscuros.
- VII. De rosa sucio a azul verdoso oscuro.
- VIII. De rojo claro a verde brillante.

**TABLA II**  
**Colores de Turmalinas**

MUESTRA	TIPOS							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
MO-108		xxxx		xxx	xx	x		
C-II-C		xxx	xxxx	xx			x	
C-II-D		xxxx		xxx				
C-III-5		xxxx	xx	xxx	x			
S-4		xxxx		xxx	xx		x	
S-12		xxxx		xxx	xx		x	
S-17		xxxx	xxx					
S-33		xxxx	xxx				xx	
S-44		xxxx	x	xxx	xx			
S-47		xxxx	xxx		xx			
S-50		xxxx		xxx				
S-71	x	xxxx		xx	xx		x	

De todos estos tipos predominan fundamentalmente el II, que corresponde a la variedad con Mg, llamada Dravita. Le sigue en abundancia el tipo IV (verdes), pero no aparecen en todas las

muestras. Las turmalinas que presentan estos colores son muy frecuentes en las rocas ígneas. Las turmalinas azules son escasas y han sido interpretadas por PETTJOHN (1975) como procedentes de rocas pegmatíticas.

Hay que señalar que el tipo VI sólo lo hemos encontrado en la muestra del Pérmico (Mo-108).

El circón aparece en todas las muestras estudiadas con porcentajes que varían de un 1 a un 16 por 100. Generalmente son incoloros, aunque algunos tienen un tono rosa. Se observan dos tipos bien definidos y en proporciones semejantes, unos perfectamente redondeados y otros con hábito prismático bipiramidal o monopiramidal, presentando un ligero redondeamiento de sus formas. PETTJOHN (1975) interpreta la asociación turmalina y circón redondeados, junto con leucoxenos y rutilos, como pertenecientes a sedimentos retrabajados.

El apatito no aparece en todas las muestras estudiadas y sus porcentajes son muy dispares, variando de un 1 a un 17 por 100. Se presenta en formas granulares muy redondeadas.

El resto de minerales pesados transparentes aparecen de manera esporádica, teniendo valores que generalmente no sobrepasan el 4 por 100.

En cuanto a los minerales opacos, el más abundante es la hematites, que se encuentra en forma terrosa y/o metálica, siendo la primera la que domina. Es de destacar que disminuye su proporción notablemente hacia el techo de la serie.

La asociación de minerales pesados encontrados es poco explícita, en cuanto a posibles áreas fuentes, ya que aparecen minerales tanto de procedencia granítico-neísica como metamórfica. Ahora bien, el elevado índice ZTR (circón, turmalina, rutilo), así como la casi ausencia de minerales pesados poco estables, nos indicarían unas condiciones climáticas húmedas en el área fuente o bien una diagénesis temprana con fuerte alteración intraestratal. Este hecho quedaría también apoyado por la fuerte alteración que presentan los feldespatos en el tramo inferior de la columna.

La gran abundancia de minerales opacos de hierro en forma oxidada nos hace pensar que

pueden ser heredados en parte de las áreas fuentes silíceas tan ricas en estos componentes.

El estudio *tipológico de los granos* de cuarzo se ha llevado a cabo sobre 36 muestras. Hemos utilizado la metodología de BASU et al. (1975) realizando sobre las láminas delgadas un análisis modal de 100 granos, cuyos diámetros estaban comprendidos entre 0,25 y 0,50 mm., para llegar a cuantificar los distintos tipos de cuarzo tanto monocristalino como policristalino.

Se aprecia en casi todas las muestras un mayor predominio de cuarzo monocristalino no ondulante sobre el ondulante, así como, aunque en proporciones similares, un mayor porcentaje de cuarzoes policristalinos de dos o tres individuos sobre los granos policristalinos con más de tres individuos.

La proyección, según el diagrama propuesto por BASU et al., se ha realizado en la figura 19. En ella se observa cómo las muestras que hemos estudiado se distribuyen dentro de los campos de metamorfismo de alto y medio grado y de bajo grado. Estos datos están de acuerdo con la proporción de fragmentos de roca metamórfica encontrados en el estudio microscópico de las láminas delgadas.

La posición de las muestras en el gráfico podría ser interpretada como una contaminación de distintas áreas fuentes, como citan ARRIBAS et al. (1980), estando también de acuerdo con el estudio realizado de minerales pesados, ya que la asociación dominante de éstos no define áreas distributivas, pudiendo corresponder tanto a rocas metamórficas como plutónicas.

No estamos, pues, de acuerdo con las interpretaciones dadas para la procedencia de las areniscas del Buntsandstein de la Cordillera Ibérica por VIRGILI (1977 a y 1977 b), quien opina que son en su conjunto depósitos heredados del Pérmico, estando en gran parte reelaborados y presentando una extraordinaria madurez, lo que atribuye al papel de los factores paleoclimáticos. Como queda corroborado por todos los datos que aportamos, parece existir una mezcla de áreas fuentes, dominando en el primer tramo de conglomerados y areniscas las metamórficas de alto, medio y bajo grado, haciéndose cada vez más sensibles en los tramos medios y superior la influencia granítico-neísica, llegando a dominar claramente sobre las anteriores.

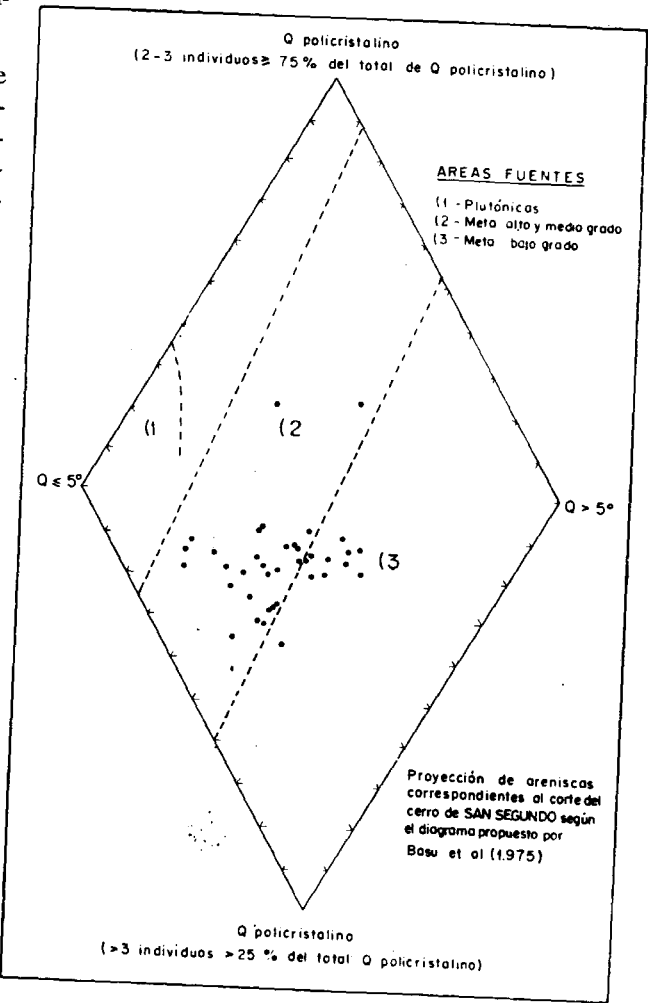


Figura 19.—Áreas fuentes deducidas para las areniscas del Buntsandstein a partir del diagrama propuesto por BASU et al. (1975).

7.2. ASPECTOS DIAGENETICOS

Se ha realizado el estudio de los procesos diagénéticos más importantes que han afectado a estas areniscas, cuyos datos semicuantitativos quedan esquematizados en las figuras 20 y 21.

Los tipos de matrices encontradas han sido: epimatriz, pseudomatriz y ortomatriz (según la clasificación de DICKINSON, 1970), las tres correspondientes a matrices autígenicas. La matriz alogénica es muy escasa y aparece en forma de cantos blandos casi siempre (fig. 22).

La epimatriz, producto principalmente de alteración de feldespatos y fragmentos de rocas me-



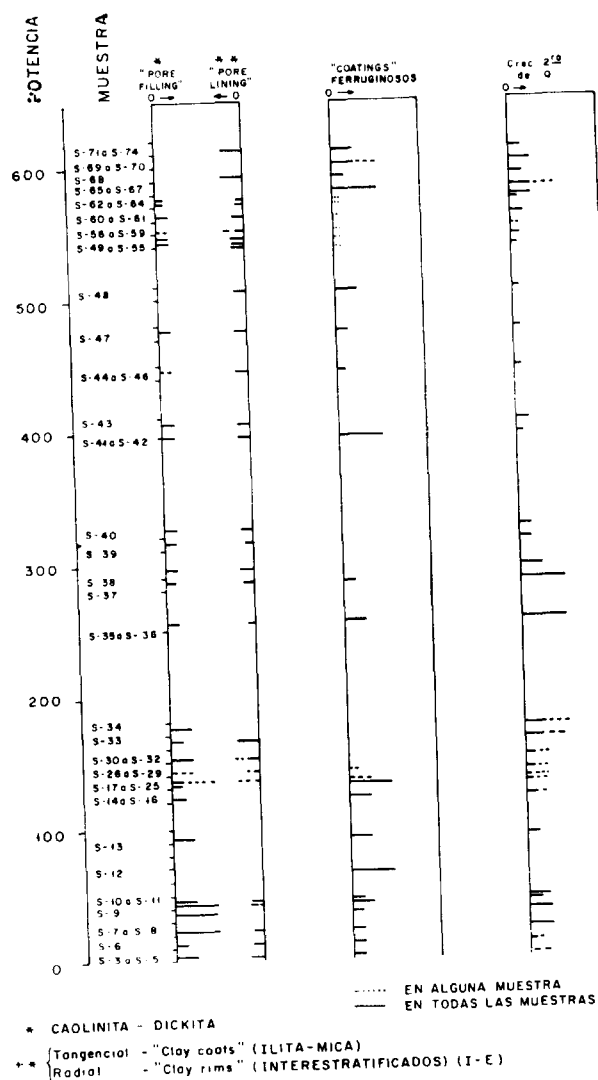


Figura 20.—Datos semicuantitativos de los aspectos diagénéticos más significativos de la columna del Cerro de San Segundo.

tamórficas y volcánicas (fig. 23), es claramente dominante en todo el corte. En los tramos inferiores y medios sus contenidos son bastante constantes, variando de medianamente abundantes a abundantes. En el tramo superior existen zonas donde disminuye notablemente e incluso llega a faltar.

La pseudomatriz sigue a la epimatriz en orden de importancia y la integran fragmentos de rocas lábiles deformados. Aparece a lo largo de todo el corte y es más abundante en el tramo inferior (fig. 24).

La ortomatriz en general es escasa, apreciándose un incremento en los últimos 60 m. Se asocia a una disminución de la epimatriz y está constituida generalmente por cantos blandos recristalizados y desintegrados.

Frecuentemente, aunque en cantidades accesorias, aparecen macrocristales vermiculares de caolinita-dickita («pore filling» según WILSON and PITTMAN, 1977) (fig. 16). En la figura 20 se observa que son más abundantes en el tramo inferior que en el medio y superior, llegando en este último a faltar. Parecen estar asociados con los niveles más porosos (conglomerados y areniscas basales) disminuyendo en los tramos superiores más impermeables. Asimismo, a lo largo de todo el corte aparecen «pore lining» tangenciales de illita o de interestratificados I-E. Estos son más frecuentes en los niveles más arcillosos, que son los superiores.

La composición mineralógica de los cementos ya ha sido descrita. Unicamente diremos aquí que las películas o «coating» ferruginosos se observan a lo largo del corte en cantidades escasas a frecuentes, faltando como es lógico en los tramos grises.

Como ya dijimos con anterioridad, en un estudio sobre el origen del hierro y sus coloraciones en el Buntsandstein (MARFIL et al., 1971), la gran riqueza en hierro férrico existente proviene de la alteración de minerales ferromagnesianos (biotitas, ilmenitas, hematites, etc.) llevados a la cuenca en forma detrítica y del aporte de  $Fe^{++}$  en solución. El proceso de oxidación se llevaría a cabo durante la alteración y el transporte, culminando en la sedimentación-diagénesis temprana, por lo que el color del sedimento debería ser inicialmente pardo (10YR-5YR) y los colores rojos (10R) que aparecen actualmente son de origen secundario o diagénético.

Para algunos autores que han estudiado las areniscas rojas del Pérmico y Triás de los Vogos (MILLOT, PERRIAUX et LUCAS, 1961; MILLOT, 1964 y 1967), la rubefacción se produciría antes del depósito de la arenisca y estaría controlada por climas cálidos con estaciones contrastadas. Para FÜCHTBAUER (1974), estas películas de arcilla con óxidos de Fe también serían controladas por el clima en el área fuente y sólo en áreas secas se formarían sobre los granos de cuarzo, no removiéndose éstas durante el transporte, al menos durante el transporte fluvial.

POTENCIA	MUESTRA	REEMPLAZOS Y ALTERACIONES									
0	S-710 S-74	Q → I y K									
100	S-690 S-70	Fto K → Q									
200	S-680 S-67	FRM → ILITA y/o CAOLINITA									
300	S-620 S-64	FRV → CHERT									
400	S-600 S-61	CHERT → ILITA									
500	S-580 S-59	MOSCOVITA → I + Q									
600	S-490 S-55	FK → ILITA y/o CAOLINITA									
	S-48	BIOTITA → O <sub>x</sub> Fe (I-E)									
	S-47	MOSCOVITA → CAOL-DICKITA									
	S-46	CAOLINITA ↔ ILITA									
	S-45	BIOTITA → CAOLINITA									
	S-44	FRV → CAOL-DICKITA									
	S-43	BIOTITA → CLORITA									
	S-42	MOSCOVITA → ILITA									

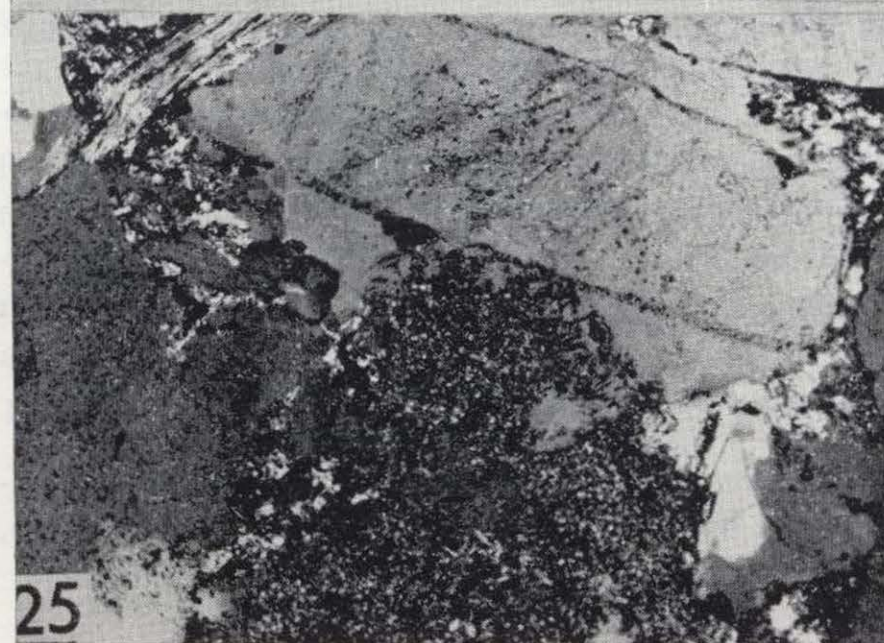
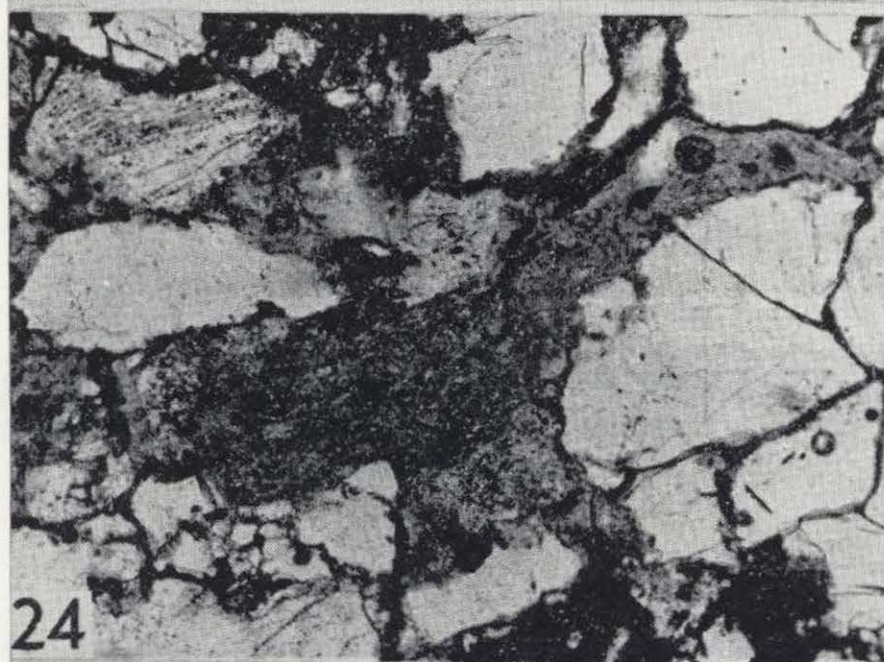
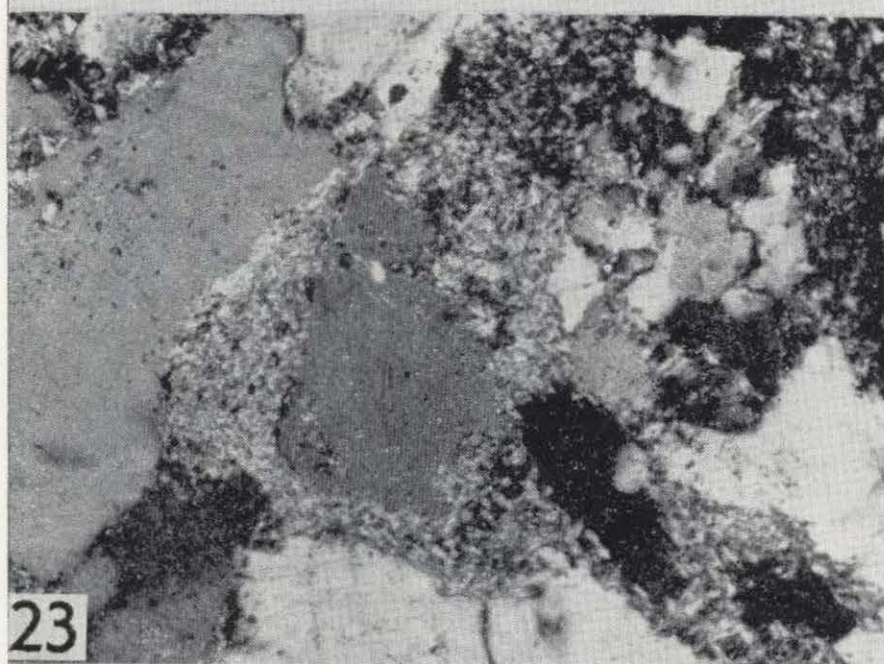
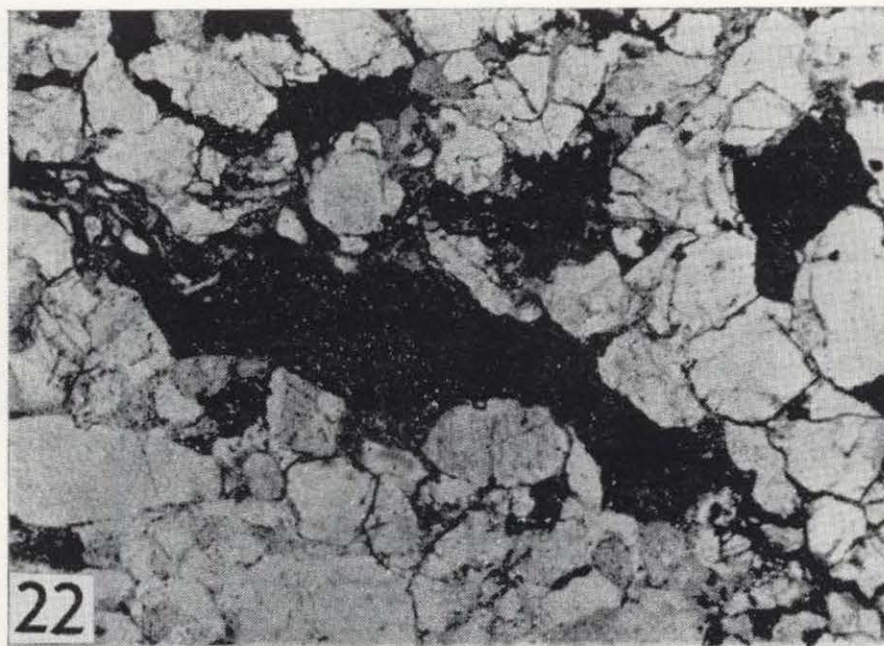
Figura 21.—Reacciones diagénéticas observadas en la columna del Cerro de San Segundo.  
Q=Cuarzo; I=Illita; FRM=Fragmentos de roca metamórfica; FRV=Fragmentos de roca volcánica; FK=Feldespatos potásico; (I-E)=Interestratificado Illita-Esmectita; O<sub>x</sub>Fe=Óxidos de hierro.

En nuestro estudio hemos comprobado que los «coatings» ferruginosos en su mayor parte son biotitas adaptadas a los granos por compactación mecánica, dando películas discontinuas y dejando un halo ferruginoso en este proceso. También hemos observado la desagregación de cantos blandos ferruginosos y otros minerales portadores de hierro, que contribuirían a formar las películas ferruginosas.

En una pequeña proporción de areniscas del Saxoniense existen granos muy redondeados con películas muy tenues de óxidos de Fe y crecimiento secundario de cuarzo sobrepuesto. En este último caso la película ferruginosa podría ser heredada y tener un control climático.

Durante la telodiagénesis se renovaron los caracteres oxidantes del medio, quedando marcado,





sobre todo el Saxonense y el techo de la serie Buntsandstein, por la presencia de nuevos cementos ferruginosos, rellenando grietas y fracturas e incluso con la presencia de concreciones ferruginosas.

Los crecimientos secundarios de cuarzo varían en general de abundantes a medianamente abundantes a lo largo del corte (fig. 20). Su desarrollo es intenso, quedando a veces todos los granos soldados entre sí, llegando incluso a reemplazar a los feldespatos (fig. 25). Son más frecuentes en la base y se asocian con los «pore filling» de caolinita-dickita, al igual que encontraron en el Buntsandstein de Sigüenza MARFIL y BUENDÍA (1980).

Los crecimientos secundarios de feldespato potásico son poco frecuentes y poco desarrollados hasta el tramo medio, apareciendo en cantidades escasas en los últimos 140 m. del corte, lo que indica la llegada de fluidos diagenéticos más alcalinos según nos aproximamos hacia las facies carbonatadas del Muschelkalk (MARFIL et al., 1977). En algunos niveles del techo del corte del Cerro de San Segundo y en otras muestras del techo en Castellar, se ve claramente que este crecimiento secundario no aparece en continuidad óptica (fig. 26) y que por tanto podría corresponder a una composición diferente a la del grano detrítico. Los análisis de microsonda electrónica, realizados sobre estos feldespatos, dieron una distribución muy homogénea del K en el grano y su crecimiento secundario (figs. 26, 27 y 28), pero la distribución del Ca y el Na, estaba prácticamente restringida al contorno del grano detrítico heredado de áreas fuentes metamórficas de alto grado, donde es posible la cristalización de fases minerales más impuras. Los valores encontrados

Figura 22.—Canto blando deformado y algo recrystalizado, arcilla alogénica en una subarcosa. NP.  $\times 50$ .

Figura 23.—Fuerte reacción entre la epimatriz de caolinita, procedente de la alteración de feldespatos y los cuarzos mono y policristalinos en una subarcosa del tramo medio. NC.  $\times 125$ .

Figura 24.—Seudomatrix formada por la deformación de fragmentos de roca metamórfica de bajo grado (pizarras ilíticas y con pirofilita) en una sublitoarenita del tramo inferior. NP.  $\times 50$ .

Figura 25.—Cementación silícea como crecimiento syntaxial que a su vez reemplaza a un feldespato K y por último corrosión del cemento silíceo por la matriz de caolinita-ilita. NC.  $\times 125$ .



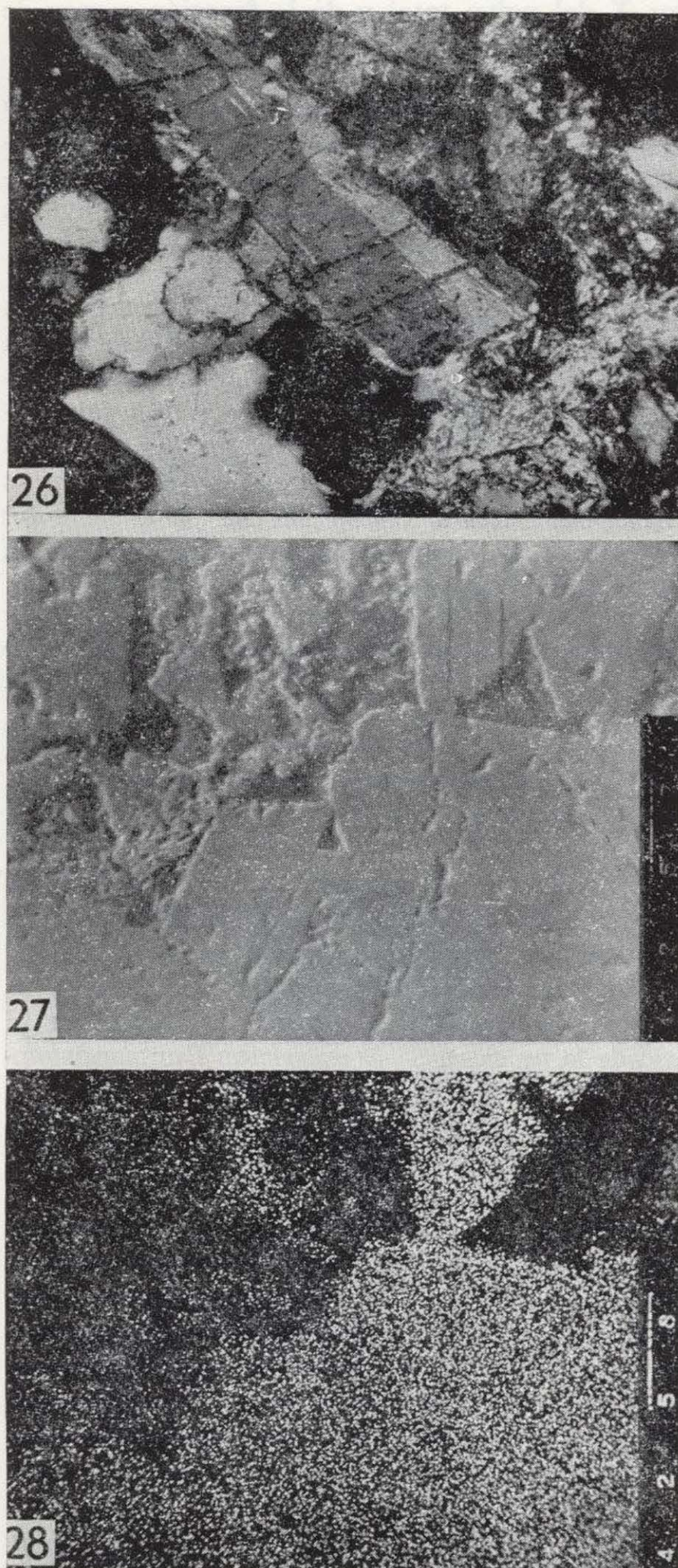


Figura 26.—Alteración según la exfoliación y crecimiento secundario epitaxial de un feldespato K que posteriormente es corroído por la matriz de illita y caolinita. Subarcosa del tramo de areniscas superiores. NC.  $\times 125$ .  
 Figura 27.—Morfología con hábito de adularia del crecimiento secundario del feldespato K. MEB.  $\times 300$ .  
 Figura 28.—Mapa de distribución del K sobre los feldespatos de la figura 27.

para el Ca y Na del cristal de las figuras 26 y 27, fueron de 0,00 y 0,06 por 100, respectivamente, en el borde (o crecimiento autigénico) y de trazas y 0,53 por 100 en el núcleo (correspondiente al grano detrítico). Estos datos confirman los análisis de muchos otros autores en lo que se refiere a la pureza de las especies minerales que se neoforman en el ambiente diagenético, prácticamente a temperaturas ambientales, ya que por criterios texturales hemos deducido que este cemento autigénico es de los primeros en formarse inmediatamente después de la sedimentación de las areniscas triásicas. WALKER (1976) y WAUGH (1978) citan la frecuente aparición de cemento feldespático en areniscas permo-triásicas y en general en arcosas de todas las edades. Estos autores también ponen de manifiesto que el desarrollo de feldespato K autigénico en lechos rojos continentales involucraría la hidrólisis de silicatos detríticos (feldespatos y micas en general) por soluciones intraestratales alcalinas, enriqueciendo las aguas intersticiales en Si, Al y K.

Parece que existe una cierta relación inversa entre el contenido en crecimientos secundarios de cuarzo y el de matriz diagenética. Así, cuando los crecimientos secundarios son muy abundantes o medianamente abundantes, la matriz es muy escasa o falta. Este hecho se aprecia claramente en el tramo medio y superior. En el tramo inferior, dicha relación es más dudosa, pero parece existir también una tendencia, por otra parte lógica, a ser la matriz más escasa en zonas con cemento silíceo, ya que éste inhibiría la formación de matriz diagenética (epimatriz sobre todo).

Con respecto al esqueleto de las areniscas, se han observado reemplazamientos, corrosiones, alteraciones y fenómenos de disolución por presión. Datos sobre este último aspecto ya hemos dado anteriormente, encontrando que al dominar los contactos cóncavo-convexos sobre los suturados, existen moderados fenómenos de disolución por presión.

En cuanto a las corrosiones, hay que destacar la del cuarzo principalmente por illita a lo largo de todo el corte, aunque próximo al techo este tipo de corrosión prácticamente desaparece. También existe, aunque en menor proporción, corrosión del cuarzo por caolinita.

La alteración de los feldespatos potásicos es total en el tramo inferior. En los otros dos tramos se puede considerar de incipiente a mode-



rada. Se suelen alterar a illita, a caolinita o a una mezcla íntima de ambas. En el tramo inferior existe una relación directa entre la disminución de feldespatos y el aumento de caolinita («pore filling» y epimatriz) (fig. 20). Esta clara dependencia ya había sido observada por nosotros en otras areniscas pérmicas y triásicas de la Cordillera Ibérica (PEÑA et al., 1977; MARFIL y BUENDÍA, 1980). Recientemente, ROSSEL (1982) también cita esta relación en las areniscas del Rotliegendes del Mar del Norte, así como su asociación con la mayor abundancia de cemento silíceo, al igual que en nuestro caso.

Los fragmentos de roca volcánica, sobre todo en el tramo inferior, están reemplazados por chert, illita, caolinita y óxidos de hierro.

Entre otras reacciones diagenéticas podemos citar la transformación de caolinita en illita. Es también muy frecuente la alteración de moscovita a illita principalmente y, más escasamente, a caolinita.

También hemos observado una transformación de moscovita a una mezcla de illita y cuarzo y, finalmente, a clorita que a veces presenta óxidos de hierro en los planos de exfoliación. La biotita se altera a clorita, principalmente.

En el tramo medio y superior se observa que la biotita se altera a caolinita. En las muestras muy oxidadas la biotita también se transforma en óxidos férricos.

De todo lo anteriormente expuesto se deduce que la diagénesis parece ser moderadamente intensa. En las muestras estudiadas aparecen fenómenos de la etapa redoxomórfica de DAPPLES (1967 y 1979) (biotitas  $\rightarrow$  Ox Fe + Min. arcilla y biotita  $\rightarrow$  clorita, presencia de «coatings» ferruginosos, etc.); de la locomórfica, presencia de cementos silíceos casi exclusivamente, escasos de crecimiento secundario de feldespato K y reemplazos de feldespato K por el cemento silíceo. No parecen existir indicios del paso de estas areniscas por el estado filomórfico, lo cual también estaría a favor de una diagénesis de enterramiento moderado, como la encontrada en otras zonas de la Cordillera Ibérica por MARFIL y BUENDÍA (1980).

### 7.3. NIVELES DE LUTITAS INTERCALADOS

El estudio de los niveles detríticos finos se ha realizado por medio de difractogramas de ra-

yos X del polvo total y de la fracción menor de dos micras en agregado orientado.

Hay que señalar que las muestras Mo-105 y Mo-110 corresponden al Pérmico en facies Saxoniense y las muestra A-71, A-69 y A-68 corresponden al tránsito Buntsandstein-Muschelkalk, en los alrededores de Castellar de la Muela.

Los porcentajes de la composición total de las muestras quedan representados gráficamente en la figura 29. Están constituidas fundamentalmente por cuarzo, feldespato potásico y minerales arcillosos. La hematites aparece en las muestras pérmicas y se encuentra también en muestras correspondientes al tramo inferior de la serie del Buntsandstein, estando prácticamente ausente en los niveles superiores.

El feldespato potásico se presenta en cantidades considerables en los tramos superiores, al igual que en las areniscas intercaladas. Asimismo, la calcita aparece en cantidades importantes en muestras correspondientes al tránsito Buntsandstein-Muschelkalk.

En la figura 29 también están representados los datos de la composición mineralógica de la fracción menor de dos micras. En ella el mineral dominante y casi exclusivo es la illita. La caolinita aparece en cantidades moderadas, salvo en el caso de la muestra S-74 (transición Buntsandstein-Muschelkalk) en la que hay gran cantidad de dickita. Asimismo, en las muestras A-71, A-69 y A-68 la illita y la caolinita están acompañadas por minerales a 14Å.

En la figura 30 hemos representado las muestras estudiadas en un diagrama de ESQUEVIN (1969). En él vemos que la cristalinidad oscila entre unos valores comprendidos entre 4,5 y 7,5. Estos no son homogéneos, apreciándose que la cristalinidad en realidad no es demasiado buena. Los valores de la relación de Al/Fe+Mg oscila entre 0,20 y 0,43, indicando cierta disparidad en los contenidos en Al, Fe y Mg. Se puede apreciar que los valores correspondientes al Pérmico quedan en la zona de diagénesis, próxima a la anquizona, siendo las illitas pobres en Al. Los tramos basales y medios del Buntsandstein tienen una relación algo más alta, con valores próximos a 0,3, y parece, aunque existen pocos datos, que las muestras del tránsito al Muschelkalk son las más ricas en Al.

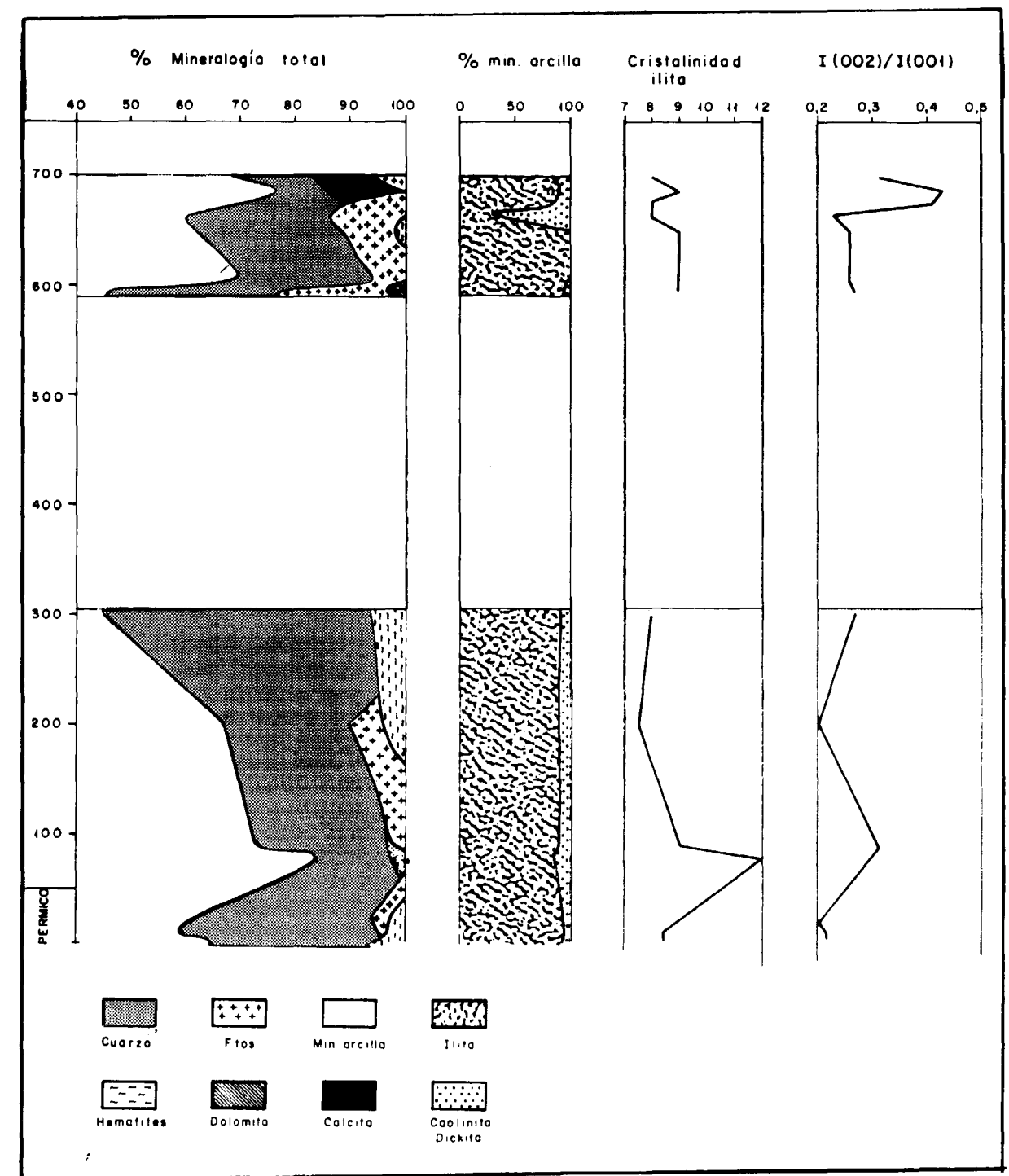


Figura 29.—Análisis mineralógico de las lutitas del Buntsandstein.



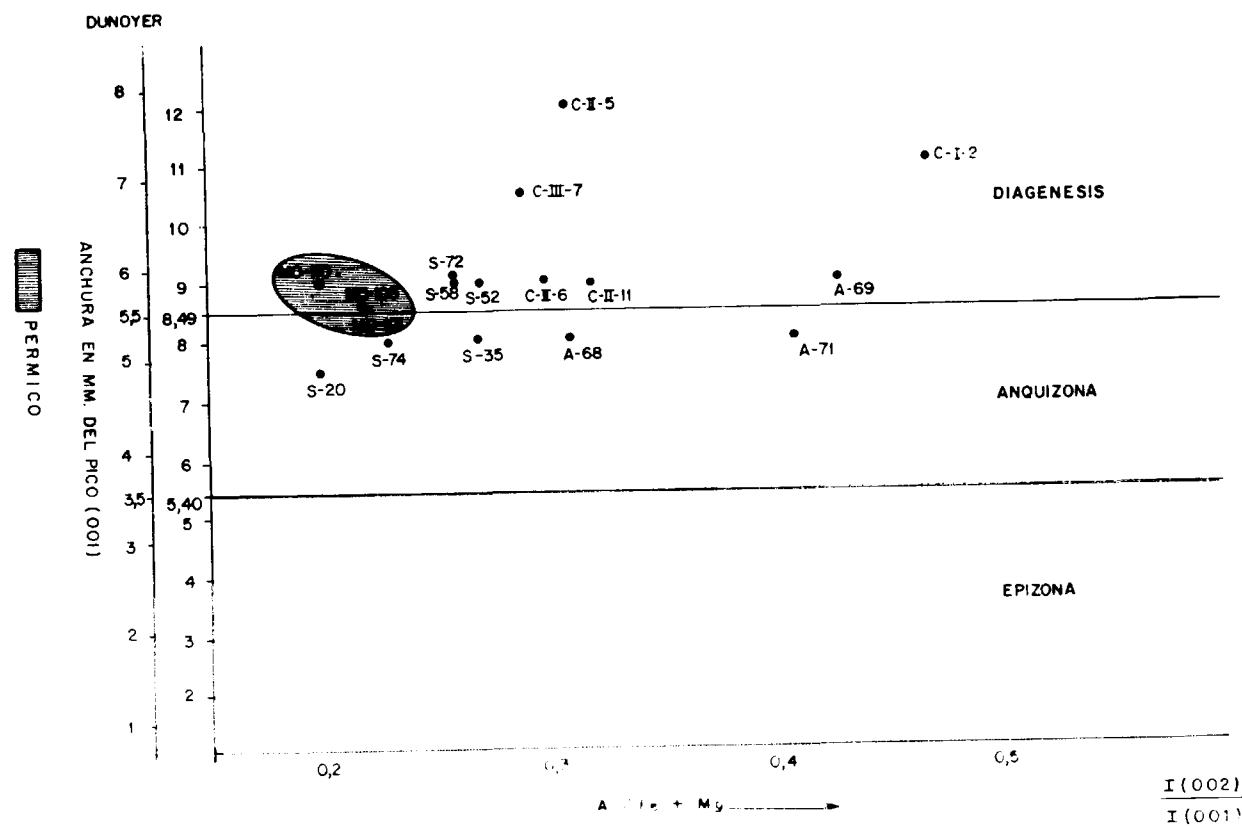


Figura 30.—Representación de las ilitas del Buntsandstein y del Saxoniense en el diagrama de ESQUEVIN (1969).

Por último, las ilitas del Buntsandstein, en general, se representan en el campo de la diagénesis, muy próximas a la anquizona e incluso algunas pasan ya a este campo. Estos datos están totalmente de acuerdo con el estudio realizado sobre las ilitas del Buntsandstein en zonas próximas a El Pobo por GARCÍA PALACTOS et al. (1977) y GARCÍA PALACTOS et al. (1977), quienes encuentran que las ilitas del Trías Inferior son las más ferríferas y las del Trías Medio son más aluminosas, pudiendo ser las primeras en parte heredadas y presentar buena cristalinidad por las condiciones favorables para la circulación de aguas diagénéticas que permitirían su conservación o agradación (areniscas y conglomerados porosos).

## 8. CONCLUSIONES

— Los depósitos *Saxonienses*, constituidos por brechas de distinta naturaleza, areniscas y lutitas

rojas, son típicos de abanicos aluviales en clima más o menos árido. Composicionalmente las areniscas son cuarzoarenitas muy ricas en cemento ferruginoso y contenido en matriz menor del 15 por 100. Las áreas fuentes, deducidas a partir de los minerales pesados y de los fragmentos de roca, nos indican la existencia de diversas procedencias: Metamórficas de bajo y medio grado y subordinadamente ígnea.

Las lutitas de la facies Saxoniense están constituidas por minerales de arcilla, cuarzo y hematites subordinada. La composición de los minerales de arcilla es fundamentalmente íltica, con caolinita escasamente representada.

— Del estudio petrológico del *Buntsandstein* hemos concluido que existen dos familias de areniscas relativamente bien diferenciadas: cuarzoarenitas en tránsito o sublitoarenitas, pertenecientes al tramo basal y subarcosas y arcosas, localizadas en los tramos medio y superior. El porcentaje de matriz en estas areniscas es variable, ha-

biéndose encontrado que existe una relación inversa entre su contenido y el de feldespatos, deduciéndose que la matriz alogénica es muy escasa, siendo dominante la de origen diagénético, por alteración de los feldespatos sobre todo. Su composición es fundamentalmente íltica, con caolinita subordinada.

Del estudio tipológico de los cuarzos podemos concluir que la naturaleza de las áreas fuente era metamórfica de bajo, medio y alto grado, incluidas rocas de tipo néisico.

La asociación de minerales pesados encontrados es poco explícita, en cuanto a posibles áreas fuente, ya que aparecen minerales tanto de procedencia granítico-néisica como metamórfica. Ahora bien, el elevado índice ZTR (circón, turmalina, rutilo), así como la casi ausencia de minerales pesados poco estables, nos indicarían unas condiciones climáticas húmedas en el área fuente o diagénéticas con fuerte alteración intraestratal. Este hecho queda también señalado por la elevada alteración que presentan los feldespatos en el tramo inferior sobre todo.

En cuanto a los aspectos diagénéticos, podemos decir que en el tramo basal son muy frecuentes el cemento de caolinita y los crecimientos secundarios de cuarzo, existiendo una estrecha relación entre ellos. Los crecimientos secundarios de feldespatos potásicos son escasos y sólo están presentes en el tramo superior. Todo ello nos indica una evolución de los fluidos intersticiales de ácidos (en los tramos basal y medio) a básicos (en el tramo superior).

El cemento de feldespato potásico, como crecimiento secundario, es de composición ligeramente diferente a los granos detríticos del núcleo, existiendo únicamente K, lo que corrobora la no cristalización en el ambiente sedimentario de fases minerales impuras. Su desarrollo está relacionado con la circulación de soluciones intraestratales alcalinas, probablemente agua de mar, como ya dijimos con anterioridad (MARFIL et al., 1977), para arcosas con similares procesos de cementación.

El orden de cementación deducido, siguiendo los criterios de FÜCHTBAUER (1967) ha sido: Óxidos de hierro, feldespato potásico, cuarzo-caolinita, dolomita y cuarzo, que se desarrollarían progresivamente con la profundidad de enterramiento. En etapas de emersión y fracturación se reno-

varía la cementación con calcita, óxidos de hierro y posiblemente algo de caolinita, influenciados por la penetración de aguas claramente continentales.

El tipo de contacto dominante entre los granos es el cóncavo-convexo, lo que nos indica la existencia de fenómenos de disolución por presión en un grado moderado. Le sigue en importancia el contacto recto, que indicaría cementación silícea en continuidad óptica, desarrollándose ésta en una etapa bastante temprana de la diagénesis.

Otros fenómenos diagénéticos encontrados han sido la alteración de los feldespatos potásicos y de los fragmentos de rocas volcánicas a ilita y a caolinita (epimatriz) y la deformación y rotura de los fragmentos de roca metamórfica (pseudomatriz). Esto ocurre sobre todo en los tramos basales.

De todo lo anteriormente expuesto se deduce que la intensidad de la diagénesis parece ser moderadamente alta, mesodiagénesis madura «B» de SCHMIDT y McDONALD (1979), habiéndose reconocido el paso de estas areniscas por los estadios redoxomórfico y locomórfico de DAPPLES (1979).

Del estudio de las lutitas intercaladas deducimos que están constituidas fundamentalmente por cuarzo, feldespato potásico y minerales arcillosos, dominando dentro de éstos la ilita. Del cálculo de los parámetros cristaloquímicos se deduce que las ilitas del Buntsandstein, en general, se proyectan en el campo de la diagénesis, muy próximo a la anquizona, estando algunas dentro de ésta. Asimismo, las ilitas del tramo inferior son las más ferríferas, siendo las del tramo superior las más aluminosas. En su comparación con las ilitas de la facies Saxoniense, éstas tienen una cristalinidad inferior, quedando en la zona de la diagénesis con altos contenidos en hierro.

— Las mineralizaciones de uranio se presentan tanto asociadas a lentejones de areniscas intercaladas con los conglomerados, como tapizando los cantos de cuarcita de los mismos. Se ha reconocido petrográficamente torbernitita, que se presenta principalmente como cemento y reemplazando a la matriz, así como a favor de fisuras y planos de exfoliación de algunos minerales. Esporádicamente se han encontrado restos de óxidos negros, los cuales siempre aparecen en los lentejones de areniscas.



## AGRADECIMIENTOS

A don A. Castañón, de la J. E. N., por su gran ayuda en las campañas de campo, así como por la lectura y crítica del manuscrito.

A la Dra. B. de la Cruz, de la J. E. N., por su inestimable ayuda en el estudio petrográfico de las muestras.

A don L. Pérez del Villar, de E. N. U. S. A., por su colaboración en la interpretación de los difractogramas de rayos X.

Al Dr. J. A. de la Peña y a don J. Arribas, del Departamento de Petrología de Madrid, por su cooperación desinteresada en algunos aspectos de la realización del presente trabajo. Al Dr. C. Casquet, del Departamento de Petrología, por la ayuda prestada en la realización de los análisis de microsonda electrónica sobre los feldespatos.

A don R. del Potro, de E. N. U. S. A., por las muchas facilidades dadas para la realización de nuestras investigaciones.

A doña C. Chinchilla, de E. N. U. S. A., por la mecanografía del texto.

## BIBLIOGRAFIA

- ARRIBAS, J.: *Study of different types of quartz from paleozoic feldspathic sandstones of the Iberian Range: Provenance interpretation Internat. Assoc. Sedimentologists 1 st. Europ. MTG. Bochum, 1980. Absts. 27-30 (1980).*
- ARRIBAS, J.; MARFIL, R., y PEÑA DE LA, J. A.: *Interpretación de la procedencia mediante el estudio de la tipología de los granos de cuarzo: Aplicación a las areniscas del Buntsandstein de la Cordillera Ibérica. IX Congreso Nacional de Sedimentología (en prensa) (1980).*
- BASU, A.; SUTTNER, L. J.; JAMES, W. C.; YOUNG, W., y MACK, G. H.: *De evaluation of the use of undulatory extinction and polycrystallinity in detrital quartz for provenance interpretation. Jour. sedim. Petrology, 45, 873-882 (1975).*
- CAPOTE, R.; GÓMEZ, J. J.; ROSELL, J.; DÍAZ, M.; TORRE DE LA, L. S.; SOPEÑA, S.; GABALDÓN, V.; RUIZ, P., y YÉBENES, A.: *Evolución sedimentológica y tectónica del ciclo alpino en el tercio noroccidental de la rama castellana de la Cordillera Ibérica. Temas geológico-mineros IGM, 590 pp. (1982).*
- CLEMMENSEN, L. B.: *Triassic lacustrine red-bed and paleoclimate: The «Buntsandstein» of Helgoland and the malmros Kluit member of East Greenland. Geologische Rundschau, 68, 748-774 (1979).*

- DAPPLES, E. C.: *Diagenesis of sandstones. In: Diagenesis in sediments. Developments in sedimentology. Elsevier Publishing Company, 8, 91-125 (1967).*
- DAPPLES, E. C.: *Diagenesis of sandstones. In: Diagenesis in sediments and sedimentary rocks. Developments in sedimentology. Elsevier Amsterdam, 25 A, 31-97 (1979).*
- DICKINSON, W. R.: *Interpretating detrital modes of greywackes and arcose. Journ. Sed. Petrology, 40, 695-707 (1970).*
- DICKINSON, W. R., and SUCZEK, C. A.: *Plate tectonics and sandstone composition. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 63, 2164-2182 (1979).*
- DOTT, R. L., Jr.: *Wacke, graywacke and matrix-what approach of in mature sandstone classification. Journ. Sed. Petrology, 34, 625-632 (1964).*
- DUNOYER DE SEGONZAC, G.: *Les minéraux argileux dans la diagenese. Passage au metamorphisme. Mém. Serv. Carte Geol. Als. Lorr., 29, 320 pp. (1969).*
- ESQUEVIN, J.: *Influence de la composition chimique des illites sur leur cristallinité. Bull. Centre Rech. Pan, SNPA, 3, 147-154 (1969).*
- FÜCHTBAUER, H.: *Some problems of diagenesis in sandstones. Bull. Centre Rech. Pan. SNPA, 8, 391-403 (1974).*
- GARCÍA PALACIOS, M.<sup>a</sup> C., et LUCAS, J.: *Le bassin triasique de la branche castellane de la Chaîne Iberique. II. Geochimie. Cuadernos Geología Ibérica, 4, 355-368 (1977).*
- GARCÍA PALACIOS, M.; LUCAS, J.; PEÑA DE LA, J. A., y MARFIL, R.: *La cuenca triásica de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica. I. Petrografía y Mineralogía. Cuadernos Geología Ibérica, 4, 341-354 (1977).*
- MARFIL, R.; ALONSO, J. J., y GARCÍA PALACIOS, M.<sup>a</sup> C.: *Estudio del material cementante del Triás Inferior de la Cordillera Ibérica. Estudios Geológicos, XXVII, 427-439 (1971).*
- MARFIL, R., y BUENDÍA, E.: *La evolución diagenética de los sedimentos detríticos Pérmicos y Triásicos del sondeo de Sigüenza (Guadalajara). I Simposium sobre diagenesis de sedimentos y rocas sedimentarias. Barcelona (en prensa) (1980).*
- MARFIL, R.; DE LA CRUZ, B., y DE LA PEÑA, J. A.: *Procesos diagenéticos en las areniscas del Buntsandstein de la Cordillera Ibérica. Cuadernos Geología Ibérica, 4, 411-422 (1977).*
- MILLOT, G.: *La géologie des argiles. Masson édit. Paris, 499 pp. (1964).*
- MILLOT, G.: *Signification des études récentes sur les roches argileuses dans l'interpretation des faciès sédimentaires (y compris les séries rouges). Sedimentology, 8, 259-280 (1967).*
- MILLOT, G.; PERRIAUX, J., et LUCAS, J.: *Signification climatique de la couleur rouge del grès permo-triasiques des Vosges et des grandes séries detrétiques rouges. Bull. Serv. Carte Geol. Als. Lorr., 14, 91-100 (1961).*

- PEÑA DE LA, J. A., y MARFIL, R.: *Estudio petrológico del Pérmico de la Cordillera Ibérica. Zona de Torre La Hija (NE de Molina de Aragón). Estudios Geológicos, 31, 513-530 (1975).*
- PEÑA DE LA, J. A.; MARFIL, R., y GARCÍA PALACIOS, M.<sup>a</sup> C.: *Un ejemplo de depósito volcanoclástico antiguo: Su procedencia y evolución diagenética. Estudios Geológicos, 33, 485-496 (1977).*
- PETTIJOHN, F. J.: *Sedimentary rocks. Harper and Row. Publishers New York, 628 pp. (1975).*
- RAMOS, A.: *Estratigrafía y paleogeografía del Pérmico y Triásico al Oeste de Molina de Aragón (prov. de Guadalajara). Seminarios de Estratigrafía, 6, 313 pp. (1979).*
- ROSSEL, N. C.: *Clay mineral diagenesis in Rotliegend aeolian sandstones of the southern North Sea. Clay Minerals, 17, 485-496 (1982).*
- VAN LOON, A. J.: *Habitus of some heavy minerals from the Tertiary of Southern Limberg (The Netherlands). Meded. Rijks. Geol. Dienst. N. S., 23, 39-67 (1972-1973).*

- VILLENA, J.: *Estudio geológico de un sector de la Cordillera Ibérica comprendido entre Molina de Aragón y Monreal del Campo. Tesis doctoral (inédito) (1971).*
- VIRGILI, C.: *Le Trias du Nord de l'Espagne. Bull. du B. R. G. M. (deuxième série). Section IV, 3, 205-213 (1977 a).*
- VIRGILI, C.: *Consideraciones generales sobre el Triásico y el Pérmico de la Cordillera Ibérica y bordes del Sistema Central. Cuadernos Geología Ibérica, 4, 563-578 (1977 b).*
- WALKER, T. R.: *Diagenetic origin of continental red beds. In FALKE, H. (Ed.): The continental Permian in Central, West and South Europe. Reidel, Dordrecht, Holland, 240-282 (1976).*
- WAUGH, B.: *Authigenic K-feldspar in British Permo-Triassic sandstones. Jl. Geol. Soc. Lond., 135, 51-56 (1978).*
- WILSON, M. D., and PITTMAN, E. D.: *Authigenic clays in sandstones: recognition and influence on reservoir properties and paleoenvironmental analysis. Jour. Sedim. Petrology, 47, 3-31 (1977).*

Recibido: Mayo de 1983